

■ Langkah Sembiring  
■ Sudjino



# Biologi



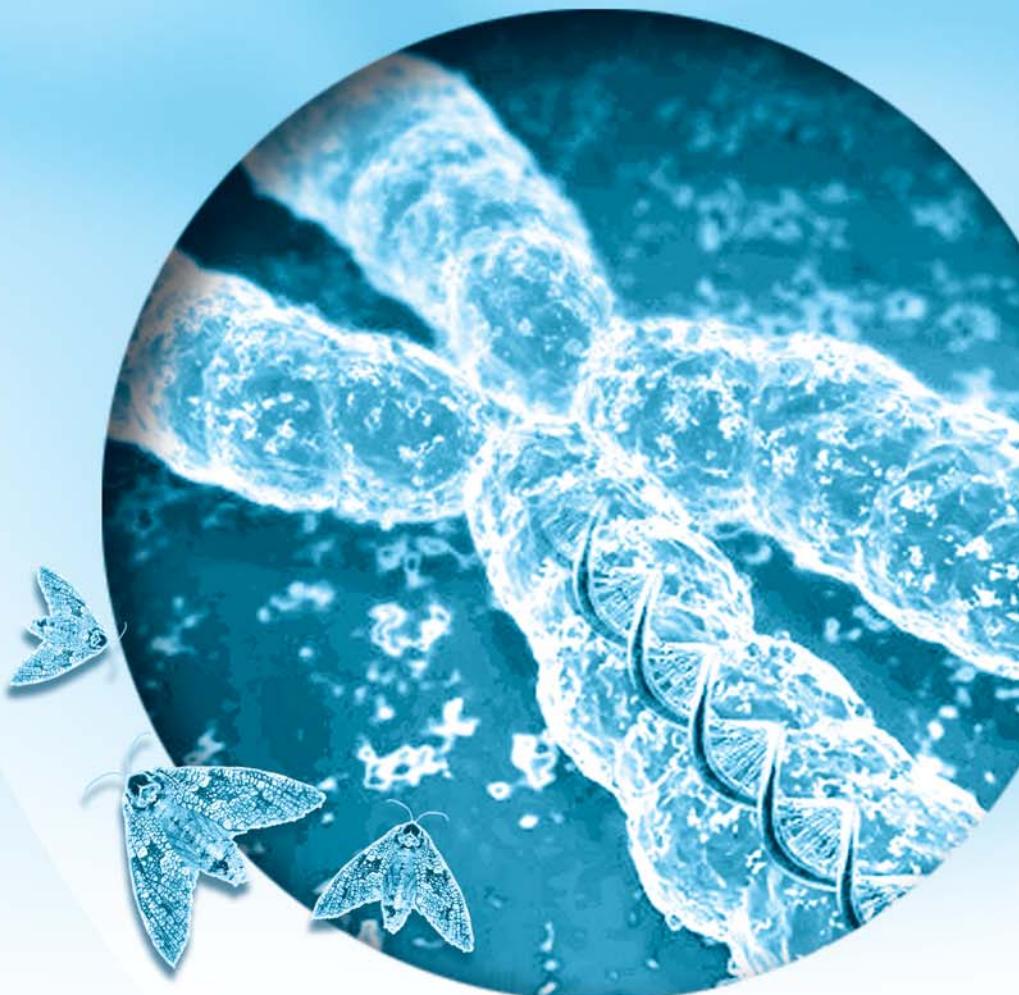
**Kelas XII  
untuk SMA dan MA**



**PUSAT PERBUKUAN**  
Departemen Pendidikan Nasional

■ Langkah Sembiring  
■ Sudjino

# Biologi



**Kelas XII**  
**untuk SMA dan MA**



**PUSAT PERBUKUAN**  
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional  
Dilindungi Undang-Undang

# Biologi

## untuk SMA Kelas XII

Editor: W.H. Omegawati, Sri Lestari, Khori Ariyanti; ilustrator: K. Wijayanti; desainer kover: Heri Cahyono; perwajahan: Agus Suyono, Ucok Harahap, Eka Yunianti; koordinator artistik: Rahmat Isnaini; kontrol kualitas: Sri Lestari.

Penanggung jawab produksi: Sriyono.

Ukuran buku: 21 x 29,7 cm

574.07

LAN  
b

LANGKAH Sembiring

Biologi : Kelas XII untuk SMA dan MA / Langkah Sembiring,  
Sudjino . — Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan  
Nasional, 2009.  
vii, 282 hlm, : ilus. ; 30 cm

Bibliografi : hlm. 272-273

Indeks

ISBN: 978-979-068-831-5 (no jilid lengkap)

ISBN: 978-979-068-843-8

1. Biologi-Studi dan Pengajaran      I. Judul  
II. Sudjino

Hak Cipta Buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional  
dari Penerbit Intan Pariwara

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 81 Tahun 2008 tanggal 11 Desember 2008.

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

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

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para siswa kami ucapan 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

# Belajar dengan Melakukan (*Learning by Doing*)

Era pembelajaran berbasis kompetensi terus mendapat sambutan luar biasa di sekolah-sekolah. Tidak terkecuali di sekolah Anda, bukan? Jika pihak penyelenggara pendidikan menyambut antusias, Anda pun mempunyai sikap yang sama. Pendidikan di sekolah tidak dapat berjalan dengan baik tanpa partisipasi dari peserta didik, yaitu Anda. Nah, sudahkah Anda berpartisipasi aktif dalam setiap kegiatan pembelajaran?

*Learning by doing* (belajar dengan melakukan) merupakan salah satu metode yang banyak diterapkan di sekolah dalam melaksanakan pembelajaran yang berbasis kompetensi. Tentu sekolah Anda telah melaksanakan, bukan? Mengapa metode ini banyak diterapkan di sekolah-sekolah? Metode ini terbukti efektif untuk mencetak siswa yang cerdas, kreatif, mempunyai kemandirian berpikir, dan berwawasan maju. Tentu saja ada syarat yang harus dipenuhi dalam melaksanakan metode ini, yaitu Anda harus berperan aktif dalam setiap kegiatan pembelajaran. Jika pada zaman dahulu, kakak kelas Anda hanya *datang, duduk, mendengarkan, dan mencatat*, sekarang metode ini sudah usang. Metode ini banyak sekali kelemahannya. Di antaranya, mencetak siswa yang pandai menghafal tanpa mengetahui makna yang dihapalkannya. Metode ini juga tidak merangsang siswa untuk berpikir kreatif, justru cenderung membelenggu kemandirian berpikir. Selain itu, metode usang ini tidak dapat mengembangkan kompetensi dalam diri siswa.

Apakah sebenarnya *Learning by doing* itu? Secara ringkas, *Learning by doing* adalah suatu metode pembelajaran yang menitikberatkan pada pemberian pengalaman langsung kepada siswa, yaitu berupa keterampilan proses. Dalam metode ini, Anda tidak hanya mendengarkan dan mencatat, tetapi harus disertai dengan melakukan berbagai kegiatan. Kegiatan itu dapat berupa eksplorasi melalui pemberian tugas di dalam dan di luar kelas, baik di dalam jam pembelajaran maupun di luar jam pembelajaran. Nah, dengan sistem pembelajaran seperti ini Anda tidak hanya pandai menguasai materi, tetapi juga mengetahui penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Anda tidak hanya pandai berteori, tetapi dapat memanfaatkan ilmu yang diterima untuk memecahkan permasalahan.

Buku Biologi Kelas XII ini sangat tepat di tangan Anda. Mengapa demikian? Dalam buku ini menyediakan berbagai fasilitas yang menunjang metode pembelajaran *Learning by doing* yang dilakukan di sekolah Anda. Coba lihat saja media seperti **Eksperimen**, **Tugas Mandiri** dan **Kelompok**, serta **Forum Diskusi** dalam buku ini, Anda akan tertantang melakukannya. Melalui ketiga media tersebut kemampuan berpikir Anda semakin berkembang. Bukan hanya itu, buku ini juga disusun menggunakan pendekatan pembelajaran kontekstual (*contextual teaching and learning*) dan konstruktivisme. Apa maksudnya? Artinya setiap konsep yang dibahas selalu dikaitkan dengan peristiwa atau pengalaman yang Anda alami dalam kehidupan sehari-hari. Nah, berawal dari pengalaman Anda itulah pemahaman konsep dimulai. Pendekatan pembelajaran seperti ini menjadikan Anda lebih memahami konsep yang dipelajari. Bagaimana Anda siap untuk belajar? Ingat hidup adalah perjuangan. Oleh karena itu berjuanglah demi masa depan.

Klaten, Juli 2007  
Penyusun

# Bagaimana Cara Menggunakan Buku Ini?

Halaman ini penting dibaca. Mengapa? Ibarat memasuki kota yang baru dikenal, membaca peta merupakan tindakan yang bijak. Anda tentu ingin menikmati setiap keindahan di kota itu, bukan? Demikian juga sebelum Anda mempelajari buku ini. Oleh karena itu, perhatikan setiap ikon dalam buku ini agar Anda dapat memperoleh manfaat yang maksimal dari buku ini.



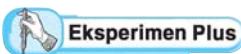
Bagian ini berupa kata penting yang mendasari isi materi dalam suatu bab.



Kemampuan Anda bekerja sama dalam satu tim akan teruji melalui kegiatan ini.



Berupa tugas yang wajib Anda kerjakan untuk mengukur aspek kognitif.



Media ini disajikan untuk melatih kemandirian dan kreativitas Anda dalam kegiatan praktikum di luar jam pelajaran.



Bagian ini memberikan Anda tambahan wawasan sekitar ilmu Biologi.



Kegiatan ini melatih Anda mengasah dan mengembangkan kemampuan Anda dalam memecahkan permasalahan. Kemukakan pendapat Anda dengan sikap ilmiah karena Anda calon Saintis ulung.



Anda akan melatih keterampilan melakukan kegiatan praktikum melalui media ini sehingga tidak hanya mempelajari Biologi secara teoritis saja.



Pada media inilah pemahaman Anda akan terdeteksi. Kerjakan dengan baik dan buktikan bahwa Anda benar-benar memiliki kompetensi tentang materi itu. Ingat, jangan melanjutkan ke materi subbab berikutnya jika Anda tidak lolos dalam Uji Kompetensi ini.



Media ini membantu Anda mempersiapkan materi belajar.



Bertujuan menguji Anda bekerja sama dalam kelompok untuk menyelesaikan suatu masalah secara ilmiah serta pembuatan laporannya sesuai waktu yang ditentukan.



Media ini menyajikan soal-soal yang meliputi materi satu bab. Kinilah saatnya Anda untuk membuktikan kemampuan Anda dalam memahami materi dalam bab yang bersangkutan.

# Daftar Isi

Kata Sambutan, iii

Belajar dengan Melakukan (*Learning by Doing*), iv

Bagaimana Cara Menggunakan Buku Ini?, v

Daftar Isi, vi

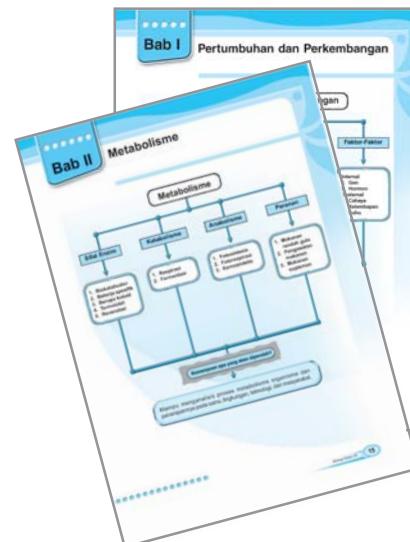
## Bab I Pertumbuhan dan Perkembangan

Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan, 3

## Bab II Metabolisme

- A. Peran Enzim dalam Metabolisme, 17
- B. Katabolisme, 24
- C. Anabolisme, 33
- D. Keterkaitan Metabolisme, 44

Latihan Ulangan Blok 1, 59



## Bab III Substansi Genetik

- A. DNA (*Deoxyribonucleic Acid*) dan RNA (*Ribonucleic Acid*), 65
- B. Gen dan Kromosom, 73

## Bab IV Pembelahan Sel

- A. Pembelahan Mitosis, Meiosis, dan Amitosis, 83
- B. Pembentukan Gamet pada Hewan dan Tumbuhan Tingkat Tinggi, 97

## Bab V Hukum Hereditas

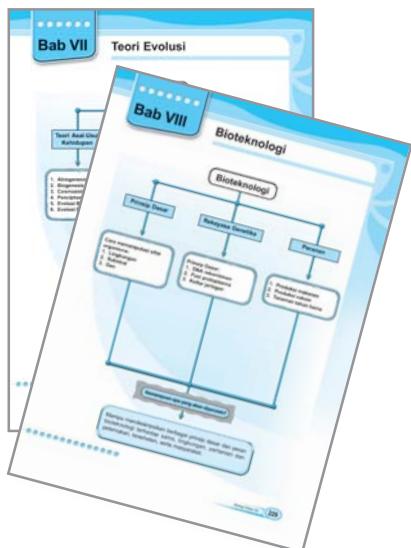
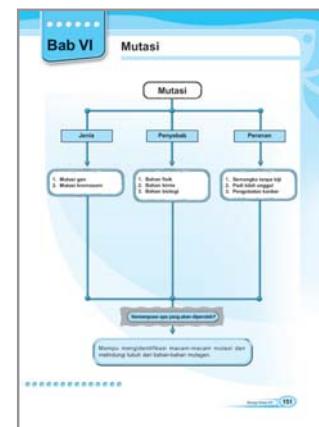
- A. Hukum Mendel, 109
- B. Penyimpangan Hukum Mendel, 120
- C. Hereditas pada Manusia, 134

## Bab VI Mutasi

- A. Pengertian dan Macam-Macam Mutasi, **153**
- B. Penyebab Mutasi dan Dampaknya bagi Kehidupan, **173**

Latihan Ulangan Blok 2, **183**

Latihan Ulangan Semester, **187**



## Bab VII Teori Evolusi

- A. Teori Asal Usul Kehidupan, **193**
- B. Sejarah Munculnya Teori Evolusi, **199**
- C. Bukti-Bukti yang Mendukung Teori Evolusi, **202**
- D. Mekanisme Evolusi, **208**

## Bab VIII Bioteknologi

- A. Prinsip Dasar Bioteknologi, **231**
- B. Penerapan Bioteknologi dan Dampaknya, **237**

Latihan Ulangan Blok 3, **259**

Latihan Ujian Akhir Sekolah, **263**

Glosarium, **270**

Daftar Pustaka, **272**

Indeks, **274**

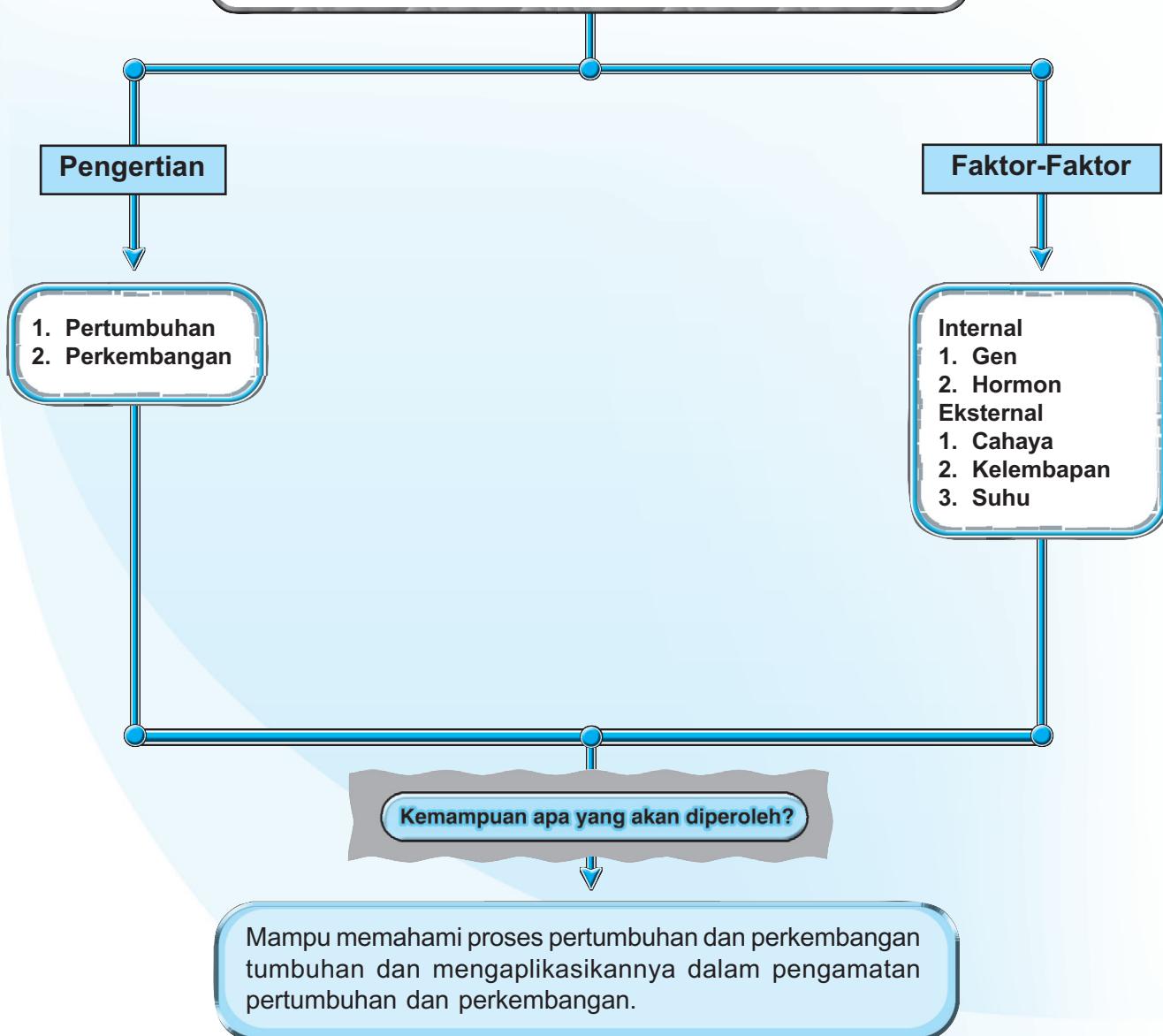
Kunci Jawaban Soal-Soal Terpilih, **279**



# Bab I

# Pertumbuhan dan Perkembangan

## Pertumbuhan dan Perkembangan





## Selasar



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Kita dapat menemukan berbagai jenis pohon di lingkungan kita dengan ukuran yang berbeda-beda. Perhatikan dua tanaman pepaya seperti gambar di atas. Dua tanaman pepaya itu mempunyai perbedaan mencolok. Satu tanaman pepaya tinggi, besar, dan berbuah, satunya lagi berbatang pendek, kecil, dan belum berbuah. Gambaran itu menunjukkan adanya pertumbuhan dan perkembangan pada tanaman pepaya.

Pada bab ini Anda akan mempelajari pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan. Selain itu, Anda juga akan mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan melalui penelitian. Setelah mempelajari bab ini diharapkan Anda melakukan penelitian mengenai pertumbuhan dan perkembangan tanaman sekaligus melaporkannya dalam suatu laporan ilmiah.



### Kata Kunci

pertumbuhan  
perkembangan  
hormon  
faktor lingkungan  
penelitian ilmiah  
metode penelitian  
percobaan  
variabel bebas  
variabel terikat  
laporan ilmiah

Tumbuhan memiliki ciri-ciri seperti makhluk hidup lain di antaranya membutuhkan makanan dan peka terhadap rangsangan. Makanan dalam hal ini unsur hara dibutuhkan tumbuhan untuk tumbuh dan berkembang. Demikian halnya dengan rangsangan. Rangsangan yang berasal dari lingkungan seperti Cahaya matahari dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Apakah pertumbuhan dan perkembangan itu? Apa saja faktor-faktor yang mempengaruhinya?

## Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan

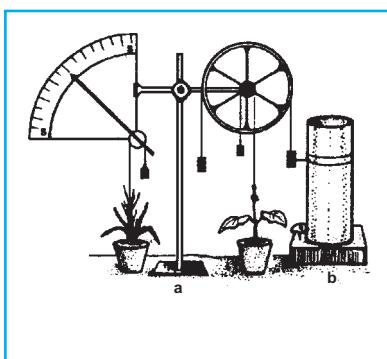
Semua makhluk hidup mengalami pertumbuhan dan perkembangan. Apa sebenarnya pertumbuhan itu? Apa perbedaan pertumbuhan dengan perkembangan? Temukan jawabannya dalam uraian materi berikut.

### 1. Pengertian Pertumbuhan dan Perkembangan

Pernahkah Anda membayangkan bahwa sebutir biji tanaman yang berukuran kecil bisa menjadi pohon dengan ukuran yang sangat besar? Sebutir biji tanaman jika ditanam akan tumbuh menjadi kecambah kemudian menjadi tanaman dan berukuran besar. Mengapa biji yang ditanam dapat berkecambah dan tumbuh menjadi tanaman?

Peristiwa perubahan biologis pada makhluk hidup yang berupa pertambahan ukuran (volume, massa, tinggi, dan sebagainya) disebut **pertumbuhan**. Pertumbuhan bersifat *irreversibel* atau tidak dapat kembali seperti semula. Pertumbuhan dapat terjadi karena di dalam tumbuhan terdapat jaringan meristematis.

Pertumbuhan dapat diukur dan dinyatakan secara kualitatif maupun kuantitatif. Pengukuran perubahan panjang atau tinggi batang dapat dilakukan dengan alat ukur misalnya penggaris, jangka sorong, atau dengan auksanometer (Perhatikan Gambar 1.1 di bawah).

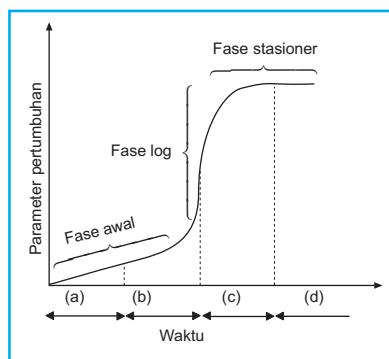


Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 1.1

Auksanometer

- Auksanometer busur
- Auksanometer pfeffer



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 1.2

Contoh kurva pertumbuhan

Jaringan merismatis tidak hanya terdapat pada ujung akar dan ujung batang sehingga menghasilkan pertumbuhan memanjang, tetapi juga terdapat di bagian kambium batang sehingga ukuran batang membesar.



Pengukuran pertumbuhan akan menghasilkan grafik berbentuk huruf S yang dikenal dengan **grafik sigmoid**. Berdasarkan grafik ini, pertumbuhan dapat dibedakan menjadi empat fase yaitu fase awal (pertumbuhan secara lamban), fase log (pertumbuhan mencapai maksimum), fase perlambatan (pertumbuhan menjadi lambat), dan fase stasioner (pertumbuhan terhenti). Pada fase log terjadi pertumbuhan yang sangat cepat dan diikuti penurunan kecepatan pertumbuhan. Contoh grafik pertumbuhan dapat Anda lihat pada Gambar 1.2 di atas.

Sel-sel yang terbentuk dari pembelahan sel meristem berupa sel-sel yang seragam, selanjutnya akan mengalami differensiasi menjadi jaringan-jaringan tumbuhan.



Setelah biji berkecambah, akan terbentuk bibit yang dilengkapi dengan akar, batang, dan daun. Peristiwa itu terjadi karena proses differensiasi sel-sel meristem. Diferensiasi yang dilakukan tumbuhan bertujuan agar tumbuhan mencapai tingkat kedewasaan. Proses menuju tingkat kedewasaan pada masing-masing individu disebut **perkembangan**. Perkembangan bersifat kualitatif, artinya tidak dapat dinyatakan dalam ukuran (jumlah, volume, dan massa). Perkembangan pada tumbuhan umumnya berlangsung seiring dengan pertumbuhan. Tumbuhan dikatakan dewasa apabila siap untuk melakukan fertilisasi.

## 2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan

Mungkin Anda ingat pepatah yang mengatakan '*Buah jatuh tak jauh dari pohonnya*'. Pepatah itu berarti menunjukkan adanya penurunan sifat dari induk terhadap anak-anaknya. Bila kita menanam biji kedelai maka akan tumbuh tanaman kedelai, bukan tanaman jeruk atau kaktus. Mengapa demikian? Bijinya itu membawa sifat keturunan berupa gen yang mewarisi struktur dan bentuk induk tanaman kedelai sebelumnya. Keadaan tersebut akan membuat biji kedelai mempunyai bentuk dan struktur yang sama seperti tanaman kedelai yang lain bila mengalami pertumbuhan dan perkembangan.

Pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu faktor dalam (intern) dan faktor luar (ekstern). Apakah pengaruh faktor-faktor itu terhadap pertumbuhan dan perkembangan?

Pada subbab ini akan dibahas mengenai salah satu faktor intern dan faktor ekstern yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.

### a. Hormon

Tumbuhan menghasilkan beberapa jenis hormon tumbuhan di antaranya auksin, giberelin, gas etilen, sitokinin, dan asam absisat. Hormon tersebut diproduksi di dalam tubuh, tetapi dipengaruhi oleh kondisi eksternal.

Sebelum membahas pengaruh hormon tumbuhan atau fitohormon lakukan tugas berikut agar Anda memiliki pengetahuan awal tentang fitohormon.

### Tugas Mandiri

Bacalah beberapa literatur mengenai fungsi hormon-hormon pada tumbuhan. Bagaimana cara kerja hormon-hormon tersebut dalam melaksanakan fungsinya?

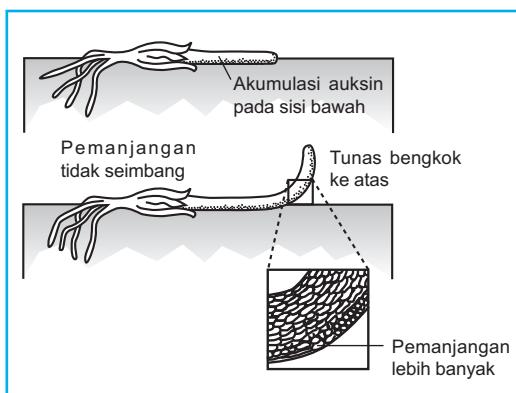
#### 1) Auksin

Hormon ini ditemukan pada titik tumbuh batang dan selubung daun pertama tanaman monokotil yang disebut koleoptil, ujung akar, serta jaringan yang masih bersifat meristematis. Adapun fungsi auksin sebagai berikut.

**Tabel 1.1 Fungsi Hormon Auksin**

Nama Hormon	Fungsi
Auksin	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pembentangan sel</li> <li>Pembelahan sel</li> <li>Merangsang pembentukan buah dan bunga</li> </ul>

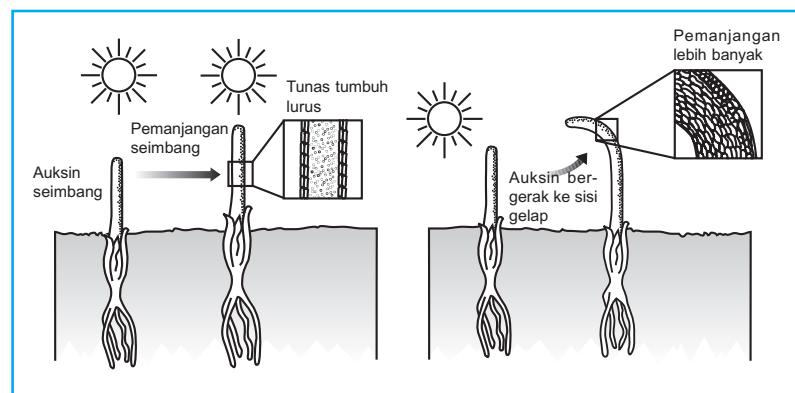
Aktivitas auksin akan terhambat oleh sinar yang berlebihan. Apa yang akan terjadi jika suatu tanaman memperoleh banyak sinar pada salah satu sisi bagian tubuhnya? Apabila salah satu sisi bagian tersebut banyak terkena sinar, tanaman itu akan mengalami hal-hal seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 1.3**

Peranan auksin pada perkembangan organ tumbuhan



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 1.4**

Peranan cahaya pada pembengkokan organ tumbuhan

Berdasarkan gambar di atas, tanaman yang memperoleh sinar dari satu sisi akan mengalami perubahan-perubahan berikut.

- Auksin akan terakumulasi di bagian batang yang tidak terkena sinar.
- Konsentrasi auksin yang tinggi di bagian yang tidak terkena sinar akan mempercepat pembelahan dan pembentangan sel batang ataupun koleoptil.
- Pertumbuhan sel yang lebih banyak di bagian kurang sinar menyebabkan batang menjadi bengkok sehingga akan terlihat bahwa tanaman tumbuh ke arah cahaya.

## 2) Giberelin

Giberelin terdapat pada bagian batang dan bunga. Fungsi hormon giberelin terlihat dalam tabel berikut.

**Tabel 1.2 Fungsi Hormon Giberelin**

Nama Hormon	Fungsi
Giberelin	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menyebabkan tanaman berbunga sebelum waktunya</li> <li>Menyebabkan tanaman tumbuh tinggi</li> <li>Memacu aktivitas kambium</li> <li>Menghasilkan buah yang tidak ber biji</li> <li>Membantu perkembangan biji</li> </ul>



### Tahukah Anda

#### Pengaruh Giberelin pada Pertumbuhan Batang

Giberelin seperti halnya auksin memegang peranan penting dalam pertumbuhan batang, namun dapat menyebabkan pertumbuhan batang menjadi terlalu panjang. Sebaris jagung kerdil dapat dibuat supaya tumbuh seperti jagung biasa dengan memberinya giberelin ber-kali-kali. Anehnya, pertumbuhan jagung biasa tidak dapat ditingkatkan dengan giberelin.

### 3) Gas etilen

Ada berbagai macam fungsi gas etilen. Salah satunya interaksi gas etilen dengan auksin dapat memacu pembungaan pada buah, misalnya mangga dan nanas. Pada beberapa tumbuhan, interaksi gas etilen dengan giberelin dapat mengatur perbandingan bunga jantan dan betina. Fungsi utama gas etilen dijelaskan dalam tabel berikut.

Tabel 1.3 Fungsi Hormon Gas Etilen

Nama Hormon	Fungsi
Gas etilen	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mempercepat pemasakan buah</li><li>• Mempertebal pertumbuhan batang</li><li>• Pengguguran bunga</li></ul>

### Forum Diskusi

Para eksportir buah biasanya membeli buah dari para petani dalam kondisi mentah, tetapi buah itu sudah tua. Selanjutnya, mereka akan mengemas buah-buah tersebut sedemikian rupa agar buah-buahan tersebut sudah masak saat diterima konsumen.

#### Pertanyaan:

1. Mengapa buah-buahan yang masih mentah tersebut dapat masak saat diterima konsumen?
2. Bagaimana cara pengemasan yang baik agar buah dapat masak saat sampai pada konsumen?

Diskusikan hal ini dengan teman Anda. Buatlah laporan mengenai hal tersebut dan kumpulkan kepada guru Anda.

### 4) Sitokinin

Sitokinin merupakan hormon tumbuh yang terdapat pada tubuh tumbuhan. Sitokinin dibentuk pada sistem perakaran. Fungsi hormon tersebut dapat Anda lihat dalam tabel berikut.

Tabel 1.4 Fungsi Hormon Sitokinin

Nama Hormon	Fungsi
Sitokinin	<ul style="list-style-type: none"><li>• Merangsang pertumbuhan akar sehingga lebih cepat memanjang</li><li>• Mempercepat pelebaran daun</li><li>• Perangsang pertumbuhan tanaman ke arah samping dan pucuk tanaman</li><li>• Merangsang aktivitas pembelahan sel</li><li>• Membantu perkembangan biji</li></ul>

### 5) Asam absisat

Berbeda dengan hormon yang lain, asam absisat mempunyai fungsi menghambat pertumbuhan.

Tabel 1.5 Fungsi Hormon Asam Absisat

Nama Hormon	Fungsi
Asam absisat	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mengurangi kecepatan pembelahan</li><li>• Mengurangi pemanjangan sel</li><li>• Membantu pengguguran bunga</li><li>• Menyebabkan dormansi</li></ul>

## b. Faktor Eksternal

Seperti telah disebutkan sebelumnya, hormon diproduksi dalam tubuh, tetapi dipengaruhi oleh kondisi eksternal (lingkungan). Pengaruh lingkungan terhadap pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan sangat besar. Faktor-faktor lingkungan tersebut meliputi suhu udara, cahaya, kelembapan udara, serta ketersediaan air tanah dan mineral. Sebelum Anda mencermati uraian pengaruh beberapa faktor lingkungan terhadap pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan lakukan tugas berikut.



### Tugas Mandiri

Bacalah beberapa literatur yang membahas mengenai faktor-faktor luar yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan jenis tumbuhan. Buatlah ringkasannya.

#### 1) Suhu

Suhu merupakan faktor lingkungan yang penting bagi tumbuhan karena berhubungan dengan kemampuan melakukan **fotosintesis**, **translokasi**, **respirasi**, dan **transpirasi**. Tumbuhan memiliki suhu optimum untuk dapat tumbuh dan berkembang. Suhu optimum merupakan suhu yang paling baik untuk pertumbuhan tanaman secara ideal. Selain suhu optimum, tanaman juga mempunyai suhu maksimum dan minimum yang bisa diterima olehnya. Suhu maksimum merupakan suhu tertinggi yang memungkinkan tumbuhan masih dapat bertahan hidup. Suhu minimum merupakan suhu terendah yang memungkinkan tumbuhan bertahan hidup.

Sebagian besar tumbuhan memerlukan temperatur sekitar 10°–38°C untuk pertumbuhannya.

#### 2) Cahaya

Cahaya berperan penting dalam proses fotosintesis. Apabila makanan yang dihasilkan dari proses fotosintesis berkurang atau bahkan tidak ada, jaringan menjadi mati karena kekurangan makanan. Namun demikian cahaya yang dibutuhkan tumbuhan jumlahnya tidak boleh terlalu banyak. Cahaya yang berlebihan justru akan menghambat pertumbuhan. Demikian juga kekurangan cahaya juga berakibat buruk bagi tanaman.

Contoh akibat dari hasil fotosintesis yang berkurang misalnya tanaman yang tumbuh di ruangan gelap, ukuran batangnya jauh lebih panjang dibandingkan tumbuhan yang memperoleh cukup cahaya matahari. Tanaman ini berwarna pucat dengan batang lemah dan kurus. Pertumbuhan dalam tempat gelap semacam ini disebut **etiolasi**.



Sumber: Biology for You, Gareth Williams

Gambar 1.5

Di dalam rumah kaca, faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dapat dikendalikan

### 3) Kelembapan

Tanah lembap sangat cocok untuk pertumbuhan, terutama saat perkecambahan biji. Hal ini karena tanah lembap menyediakan cukup air untuk mengaktifkan enzim dalam biji serta melarutkan makanan dalam jaringan.

Tingkat pengaruh kelembapan udara atau tanah pada tumbuhan berbeda-beda. Ada tanaman yang membutuhkan kelembapan udara dan kelembapan tanah yang tinggi, misalnya lumut hati. Sebaliknya, ada juga tanaman yang tumbuh dengan baik pada dengan kelembapan udara dan tanah kelembapan rendah, misalnya *Aloe vera* (lidah buaya) dan beberapa jenis tanaman anggrek.

### 4) Air dan mineral

Tumbuhan membutuhkan air,  $\text{CO}_2$ , dan mineral. Air dan  $\text{CO}_2$  merupakan bahan utama untuk berlangsungnya fotosintesis. Gas  $\text{CO}_2$  diambil melalui stomata dan lentisel. Adapun air dan mineral diambil dari tanah melalui akar, kecuali pada tumbuhan tertentu, misalnya tanaman kantong semar (*Venus* sp. atau *Nephentes* sp.). Tanaman ini memperoleh senyawa nitrogen (protein asam amino) dan mineral dari serangga yang masuk perangkapnya.

Air juga sangat diperlukan dalam perkecambahan biji. Saat perkecambahan, air digunakan untuk mengaktifkan enzim-enzim dalam biji. Tanpa air, perkecambahan biji akan tertunda (dormansi).

Mineral sangat diperlukan untuk proses pertumbuhan. Misalnya pembentukan klorofil sangat membutuhkan mineral Mg. Mineral yang diperlukan oleh tumbuhan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu makroelemen dan mikroelemen. Elemen mineral yang dibutuhkan dalam jumlah besar disebut makroelemen, sedangkan elemen mineral yang dibutuhkan tumbuhan dalam jumlah sedikit disebut mikroelemen.

### 5) Ketersediaan oksigen

Setiap makhluk hidup memerlukan oksigen untuk respirasi aerob dalam tubuh. Melalui respirasi aerob, tumbuhan dapat memperoleh energi untuk pertumbuhannya. Oleh karena itu, biji-biji tidak akan berkecambah tanpa adanya oksigen.



(a)



(b)

Sumber: *Biology for You*, Gareth Williams

#### Gambar 1.6

Perbandingan pertumbuhan  
(a) tanaman yang cukup  $\text{CO}_2$   
(b) tanaman yang kekurangan  $\text{CO}_2$



Sumber: *Biology for You*, Gareth Williams

#### Gambar 1.7

Tumbuhan yang kekurangan magnesium terlihat menguning

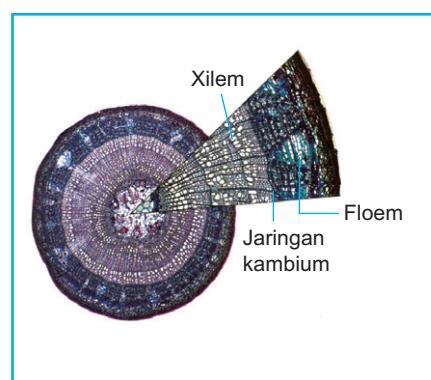
### Tugas Kelompok

Carilah informasi di buku-buku pertanian mengenai makroelemen dan mikroelemen serta peran tiap elemen mineral tersebut bagi pertumbuhan. Presentasikan hasil tugas ini di depan kelas.

Khusus pada perkembangan, selain ditentukan oleh faktor-faktor di atas juga dipengaruhi oleh beberapa faktor lainnya, di antaranya letak sel dalam jaringan. Bagaimana letak sel dapat mempengaruhi perkembangan?

Perhatikan gambar di samping. Pada gambar tampak adanya jaringan kambium yang merupakan jaringan meristem sekunder.

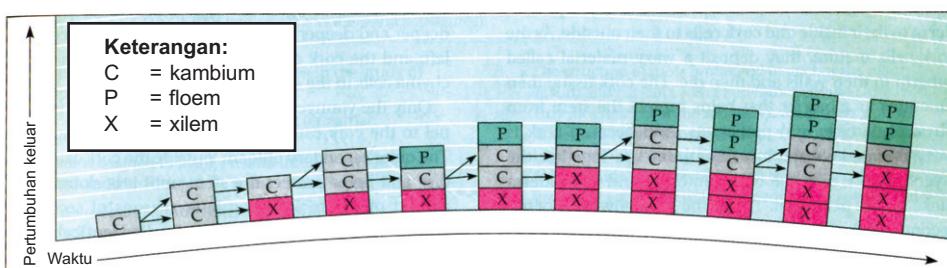
Meristem sekunder yang terletak di daerah lingkaran kambium berfungsi memperbesar diameter batang tanaman. Hal ini terjadi karena kambium selalu membelah ke arah samping. Sel-sel kambium yang terletak di bagian dalam akan terdiferensiasi menjadi xilem dan bagian luar akan terdiferensiasi menjadi floem. Kambium akan membelah kembali dan terjadi pengulangan proses seperti di atas. Pada akhirnya, sel yang terletak di bagian sebelah dalam kambium membentuk jaringan xilem, sedangkan ke arah luar membentuk jaringan floem. Pelajari gambar 1.9 agar Anda lebih memahami pertumbuhan jaringan kambium.



Sumber: Biology, Campbell

**Gambar 1.8**

Penampang melintang batang berkayu



Sumber: Biology, Campbell

**Gambar 1.9**

Pertumbuhan sekunder xilem dan floem oleh jaringan kambium

### 3. Percobaan Mengenai Pertumbuhan dan Perkembangan

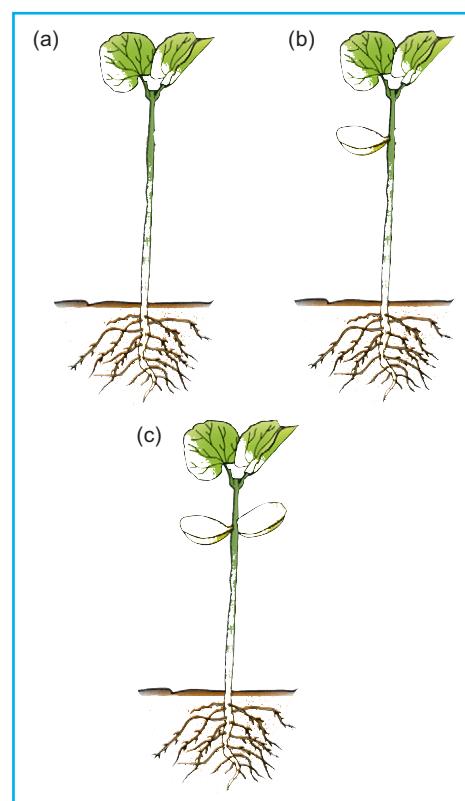
Setelah Anda memahami berbagai macam faktor-faktor pertumbuhan dan perkembangan, kini tiba saatnya Anda melakukan percobaan mengenai pengaruh faktor eksternal terhadap pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.

#### a. Rancangan Percobaan

Perlu Anda ketahui sebelum melakukan percobaan, Anda harus membuat rancangan percobaan. Berikut akan dipaparkan, satu contoh cara membuat rancangan percobaan.

Misalnya, Anda saat ini telah memahami bahwa calon tanaman bisa tumbuh jika ada cadangan makanan, air, dan oksigen. Akan tetapi, Anda ingin membuktikannya melalui percobaan mengenai kebutuhan pokok calon tanaman tersebut. Oleh karena itu, Anda perlu melakukan percobaan untuk mengetahui jawabannya.

Apabila Anda ingin melakukan percobaan mengenai pengaruh cadangan makanan terhadap pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan, maka yang perlu anda siapkan adalah sebagai berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 1.10**

- Kecambah dipotong salah satu kotiledonnya
- Kecambah dipotong kedua kotiledonnya
- Kedua kotiledon kecambah tidak dipotong

**1) Menentukan teknik atau cara percobaan yang akan dilakukan**

**Contoh:**

Menyiapkan 30 kecambah yang sudah muncul radikulanya. 30 kecambah tersebut diberi perlakuan seperti berikut.

- 10 kecambah dipotong salah satu kotiledonnya, lihat Gambar 1.10 (a)
- 10 kecambah dipotong kedua kotiledonnya, lihat Gambar 1.10 (b)
- 10 kecambah kotiledonnya dibiarkan, lihat Gambar 1.10 (c)

**Menentukan alat dan bahan yang diperlukan**

**Contoh:**

Percobaan di atas memerlukan alat dan bahan pada Gambar 1.11.

**a) Alat**

- 3 buah cawan petri ukuran besar untuk tempat menanam
- kapas untuk media tanam
- air untuk menyiram tanaman
- 1 buah penggaris untuk mengukur pertumbuhan panjang
- 1 buah timbangan untuk mengukur pertumbuhan berat
- alat tulis

**b) Bahan**

30 kecambah kacang hijau dengan ukuran dan berat yang sama

**3) Menentukan waktu percobaan**

Percobaan ini dilakukan selama 7 hari. Mengenai pengamatan pertumbuhan dan perkembangan dilakukan setiap hari.

**b. Melakukan Percobaan**

Percobaan di atas dapat dilakukan sebagai berikut.

- Kapas secukupnya diletakkan di cawan petri. Kapas ini digunakan sebagai media tanam biji kacang hijau. Setelah menutup semua permukaan cawan petri, kapas diberi air. Kedua cawan petri tersebut diberi label I dan II.
- Setelah media tanam siap, 10 kecambah kacang hijau dipotong salah satu kotiledonnya dan diletakkan di cawan petri I, 10 kecambah kacang hijau dipotong kedua kotiledonnya dan diletakkan di cawan petri II, serta 10 kecambah kacang hijau yang lain dibiarkan kotiledonnya dan ditanam di cawan petri 3.
- Letakkan cawan petri I di tempat terang (tidak ditutup kardus), dan cawan petri II di tempat yang gelap (ditutup kardus).
- Setiap hari sirami cawan petri dengan air dan lakukan pengamatan mengenai pertumbuhan dan perkembangan kecambah kacang hijau tersebut. Pertumbuhan dan perkembangan dapat diamati dengan cara sebagai berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 1.11**

Alat dan bahan untuk percobaan pertumbuhan dan perkembangan



- a) *Pertumbuhan*
  - (1) tinggi batang yang tumbuh
  - (2) panjang daun
  - (3) jumlah daun
  - (4) panjang akar pokok
  - (5) berat tanaman seluruhnya
- b) *Perkembangan*
  - (1) warna daun
  - (2) warna batang
  - (3) keadaan daun
  - (4) keadaan batang
  - (5) keadaan akar

5) Catatlah hasil pengamatan Anda pada tabel berikut.

Hal	Tanaman I										Tanaman II										Tanaman III											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jumlah daun																																
Panjang daun																																
Tinggi batang																																
Panjang akar pokok																																
Berat tanaman seluruhnya																																
	Deskripsi																															
Warna daun																																
Warna batang																																
Keadaan daun																																
Keadaan batang																																
Keadaan akar																																

### c. Menyusun Laporan Percobaan

Untuk mengkomunikasikan hasil percobaan, Anda perlu membuat laporan. Mengenai cara penyusunan laporan, Anda dapat mempelajari kembali materi bab I kelas X.

Nah, agar keterampilan Anda dalam merancang dan melakukan percobaan teruji, lakukan eksperimen berikut.



### Eksperimen

#### Membuat Rancangan dan Melakukan Percobaan

Bagilah teman sekelas Anda menjadi dua kelompok, yaitu kelompok A dan kelompok B. Kelompok A bertugas membuat rancangan percobaan dengan memilih satu tema berikut.

- Pengaruh ketersediaan air terhadap pertumbuhan dan perkembangan kecambah biji kacang hijau.

- Pengaruh ketersediaan oksigen terhadap pertumbuhan dan perkembangan kecambah biji kacang hijau.

Sementara itu, kelompok B bertugas melakukan percobaan berdasarkan rancangan percobaan yang dibuat oleh kelompok A. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, buatlah laporan percobaan untuk masing-masing kelompok A dan B. Setelah itu, presentasikan laporan percobaan tersebut di depan kelas.



## Uji Kompetensi

Jawablah soal-soal berikut.

- Apakah perbedaan antara pertumbuhan dan perkembangan?
- Sebutkan faktor ekstern yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.

- Mengapa kecambah yang tumbuh di tempat gelap tumbuh lebih panjang dibandingkan kecambah yang tumbuh di tempat terang?
- Apa yang dimaksud dengan etiolasi?
- Bagaimana ketersediaan air tanah dan mineral dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan?



## Rangkuman

Tumbuhan mengalami pertumbuhan dan perkembangan. Pertumbuhan tumbuhan dipengaruhi oleh faktor gen, faktor internal (hormon tumbuhan) dan faktor eksternal (lingkungan). Faktor internal berupa hormon tumbuhan terdiri

atas hormon auksin, sitokinin, giberelin, asam absisat dan gas etilen. Faktor eksternal berupa pengaruh lingkungan terdiri atas, cahaya, suhu, kelembapan, air dan mineral serta oksigen.



## Tugas Proyek

### Pengaruh Tiga Jenis Air (air sumur, air leding, dan aquades) terhadap Pertumbuhan dan Perkembangan Biji Kedelai

Air merupakan faktor yang penting dalam pertumbuhan tanaman terutama dalam proses perkecambahan biji. Air digunakan untuk mengaktifkan enzim-enzim dalam biji. Tanpa air, perkecambahan biji akan tertunda (mengalami dormansi).

Air juga merupakan pelarut mineral-mineral yang dibutuhkan oleh tumbuhan. Mineral sangat diperlukan dalam proses pertumbuhan. Air yang berbeda juga memiliki kandungan mineral yang berbeda pula. Dengan demikian, air yang memiliki kandungan mineral yang dibutuhkan oleh tumbuhan baik berupa makroelemen maupun mikroelemen paling baik untuk menumbuhkan tumbuhan.

#### A. Tujuan

Tugas proyek ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh 3 jenis air yang berbeda (air sumur, air leding, dan aquades) terhadap pertumbuhan dan perkembangan biji kedelai melalui penelitian ilmiah serta dijabarkan dalam laporan ilmiah.

#### B. Alat dan Bahan

- biji kedelai
- kapas
- cawan petri
- 3 jenis air (air sumur, air leding, dan aquades)

#### C. Cara Kerja

- Siapkan 3 cawan petri dan beri label A, B, dan C. Petri a untuk tanaman yang diberi air sumur, petri B digunakan untuk tanaman yang disiram dengan air leding, petri C untuk tanaman yang menggunakan aquades.
- Basahi kapas menggunakan 3 jenis air tersebut sesuai label.
- Letakkan biji kedelai dengan jumlah dan ukuran yang sama di atas kapas.
- Pastikan keadaan kapas selalu lembab dengan membasahi kapas menggunakan 3 jenis air sesuai dengan labelnya setiap hari.
- Amati perubahan yang terjadi setiap harinya dan masukkan dalam tabel berikut.

Petri Hari	Kondisi Biji (jumlah biji yang berkecambah)					
	1	2	3	4	5	dst ..
A						
B						
C						

#### D. Pelaporan

Buatlah laporan kegiatan sesuai dengan struktur penulisan ilmiah.



## Evaluasi

- A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.
1. Perkembangan terjadi karena . . .
    - a. perubahan biologis berupa pertambahan ukuran
    - b. terjadinya proses diferensiasi pertumbuhan menuju kedewasaan
    - c. adanya jaringan merismatis yang selalu membelah
    - d. tumbuhan telah siap melakukan fertilisasi
    - e. tanaman berukuran kecil menjadi berukuran besar
  2. Berikut ini merupakan fungsi giberelin, kecuali . . .
    - a. menyebabkan tanaman berbunga sebelum waktunya
    - b. menyebabkan tanaman tumbuh raksasa
    - c. memperpanjang titik tumbuh
    - d. memacu aktivitas kambium
    - e. menghasilkan buah yang tidak ber biji
  3. Giberelin dapat ditemukan di bagian . . .
    - a. batang dan bunga
    - b. daun
    - c. koleoriza
    - d. koleoptil
    - e. seluruh tubuh tumbuhan
  4. Hormon yang bekerja saat tumbuhan menggugurkan daunnya pada musim kemarau yaitu . . .
    - a. auksin
    - b. giberelin
    - c. asam absisat
    - d. gas etilen
    - e. sitokinin
  5. Ciri-ciri tanaman yang mendapatkan cukup cahaya matahari di antaranya . . .
    - a. batang berwarna kuning pucat
    - b. pertumbuhan memanjang sangat cepat
    - c. tanaman menjadi lembek dan kurus
    - d. tanaman memanjang menuju cahaya
    - e. daun berklorofil banyak
  6. Hipotesis merupakan . . .
    - a. proses menemukan suatu permasalahan
    - b. dugaan jawaban suatu permasalahan
    - c. percobaan yang dilakukan untuk menjawab permasalahan

- d. pembanding untuk variabel yang diberi perlakuan
  - e. hasil pengukuran asli tanpa pengolahan apa pun
7. Faktor intraseluler yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan yaitu . . .
  - a. auksin d. suhu
  - b. asam absisat e. cahaya
  - c. gen
8. Alat yang digunakan untuk mengukur pertumbuhan tanaman yaitu . . .
  - a. neraca
  - b. termometer
  - c. amperemeter
  - d. auksanometer
  - e. timbangan
9. Dalam metode ilmiah, eksperimen dilakukan sebagai kegiatan untuk . . .
  - a. mengajukan permasalahan
  - b. menguji hipotesis
  - c. menganalisis data
  - d. menarik kesimpulan
  - e. mendapatkan keterangan
10. Orang lain dapat membaca hasil penelitian Anda melalui . . .
  - a. hipotesis
  - b. laporan
  - c. rumusan masalah
  - d. ringkasan
  - e. replikasi
- B. Jawablah soal-soal berikut.
1. Apa yang disebut dengan dormansi? Hormon apakah yang mempengaruhinya?
  2. Alat apakah yang dipergunakan untuk mengukur pertumbuhan?
  3. Perkembangan meliputi peristiwa diferensiasi. Apakah yang dimaksud diferensiasi itu?
  4. Mengapa cahaya sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan?
  5. Sekarang banyak dijual semangka tanpa biji. Hormon-hormon apakah yang mempengaruhinya?

### C. Berpikir kritis

Pada tahun 1980-an penggunaan pupuk dan hormon buatan sangat gencar diinformasikan sebagai upaya untuk meningkatkan produksi sayur dan buah-buahan. Namun pada awal tahun 2000, sebagian masyarakat mulai memilih dan mengonsumsi

jenis makanan yang sering disebut sayuran atau buah organik meskipun harganya jauh lebih mahal. Apa yang dimaksud sayuran atau buah organik? Manakah yang lebih bagus dikonsumsi oleh tubuh, antara sayuran organik dan sayuran yang dihasilkan dengan proses pemupukan buatan?

### Refleksi

#### Pertumbuhan dan Perkembangan

Pelajari kembali

Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

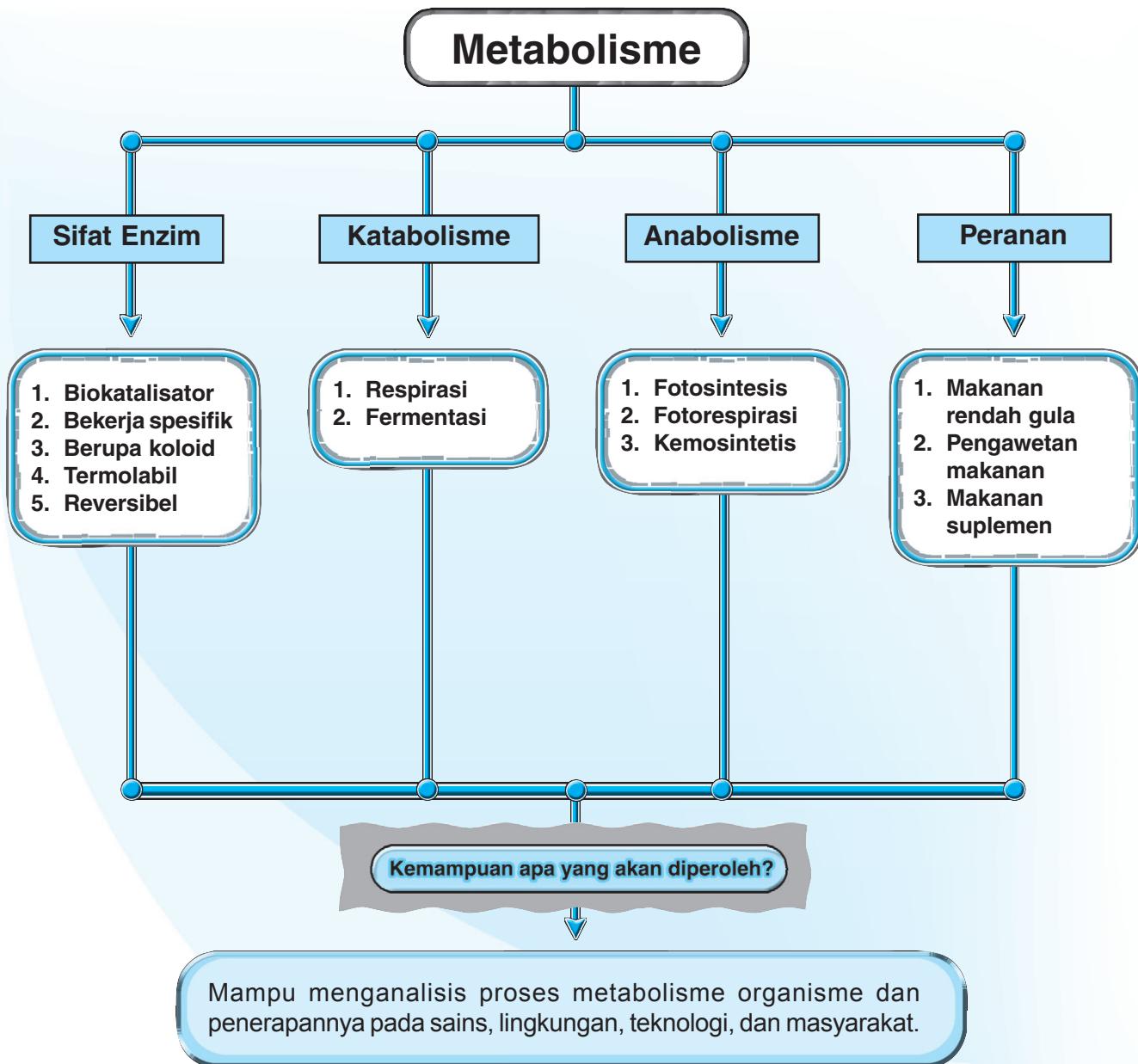
1. Apakah persamaan dan perbedaan pertumbuhan dan perkembangan?
2. Apa saja faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan?
3. Apakah yang harus dilakukan sebelum melakukan percobaan mengenai pengaruh cahaya matahari terhadap pertumbuhan tanaman?

Jawaban betul < 60%

Jawaban betul  $\geq 60\%$

Pelajari materi  
bab berikutnya

## Bab II Metabolisme





## Selasar



Sumber: *Tubuh Manusia*, Widyadara

Tubuh kita memerlukan energi untuk melakukan berbagai aktivitas, misalnya berolahraga. Saat berlari kita memerlukan banyak energi. Tubuh kita memerlukan asupan makanan sebagai sumber energi untuk memenuhi kebutuhan energi. Di dalam tubuh, makanan tersebut akan mengalami katabolisme sehingga dihasilkan energi. Katabolisme merupakan salah satu bagian dari metabolisme yang menghasilkan energi. Apakah yang dimaksud katabolisme dan metabolisme?

Pada bab ini akan dipelajari mengenai pengertian metabolisme serta macamnya. Selain itu, Anda juga dapat mempelajari proses yang berlangsung dalam metabolisme. Setelah mempelajari bab ini Anda diharapkan dapat memahami berbagai proses metabolisme dalam makhluk hidup dan dapat memanfaatkannya dalam kehidupan sehari-hari.

### Kata Kunci

metabolisme  
katabolisme  
anaerob  
glikolisis  
sistem transpor elektron  
anabolisme  
aerob  
fermentasi  
siklus Krebs  
respirasi

Semua aktivitas hidup memerlukan energi. Berpikir, berolahraga, bahkan tidur pun memerlukan energi. Dari mana energi berasal? Mobil mendapat energi dari bensin, sementara itu tubuh organisme mendapat energi dari bahan makanan. Sumber energi untuk segala kehidupan kita berasal dari cahaya matahari yang ditangkap oleh tumbuhan melalui klorofil. Selanjutnya, dalam proses jaring-jaring makanan, energi yang terdapat dalam makanan masuk dalam sistem pencernaan dan setelah dicerna menghasilkan zat-zat makanan. Zat-zat makanan ini akan diangkut menuju sel-sel dan jaringan tubuh baik pada konsumen pertama atau berikutnya. Nah, zat makanan ini di dalam sel-sel tubuh akan mengalami proses katabolisme.

Metabolisme berasal dari kata *metabole* yang artinya perubahan. Berubah di sini memiliki dua pengertian. Pertama, berubah menjadi lebih kompleks disebut **anabolisme, asimilasi**, atau **sintesis**. Kedua, berubah menjadi lebih sederhana disebut **katabolisme** atau **disimilasi**.

Dengan demikian metabolisme meliputi dua macam reaksi, yaitu anabolisme dan katabolisme. Anabolisme (biosintesis) merupakan proses pembentukan makromolekul (lebih kompleks) dari molekul yang lebih sederhana. Makromolekul yang dimaksud misalnya komponen sel (protein, karbohidrat, lemak, dan asam nukleat). Oleh karena proses pembentukannya memerlukan energi bebas maka disebut **reaksi endergonik**.

Katabolisme merupakan proses pemecahan makromolekul kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana. Misalnya pengubahan karbohidrat menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  dalam proses respirasi. Proses ini menghasilkan energi bebas sehingga disebut **reaksi eksagonik**. Energi tersebut tersimpan dalam bentuk molekul pembawa energi tinggi antara lain *adenosin triphosphat* (ATP) dan *nikotinamida adenin dinukleotida phosphat* (NADPH). Semua proses metabolisme (anabolisme dan katabolisme) merupakan reaksi enzimatis. Artinya, reaksi itu terjadi melalui keterlibatan enzim. Sebelum membahas lebih lanjut mengenai metabolisme marilah kita bahas terlebih dulu mengenai enzim.

## A. Peran Enzim dalam Metabolisme

Enzim merupakan senyawa protein yang berfungsi sebagai katalisator reaksi-reaksi kimia yang terjadi dalam sistem biologi (makhluk hidup). Oleh karena merupakan katalisator dalam sistem biologi, enzim sering disebut **biokatalisator**. Katalisator adalah suatu zat yang mempercepat reaksi kimia, tetapi tidak mengubah kesetimbangan reaksi atau tidak mempengaruhi hasil akhir reaksi. Zat itu sendiri (enzim) tidak ikut dalam reaksi sehingga bentuknya tetap atau tidak berubah.

Tanpa adanya enzim, reaksi-reaksi kimia dalam tubuh akan berjalan lambat. Apakah sebenarnya enzim itu dan bagaimanakah cara kerjanya?

## 1. Komponen Enzim

Enzim (biokatalisator) adalah senyawa protein sederhana maupun protein kompleks yang bertindak sebagai katalisator spesifik. Enzim yang tersusun dari protein sederhana jika diuraikan hanya tersusun atas asam amino saja, misalnya pepsin, tripsin, dan kemotripsin. Sementara itu, enzim yang berupa protein kompleks bila diuraikan tersusun atas asam amino dan komponen lain.

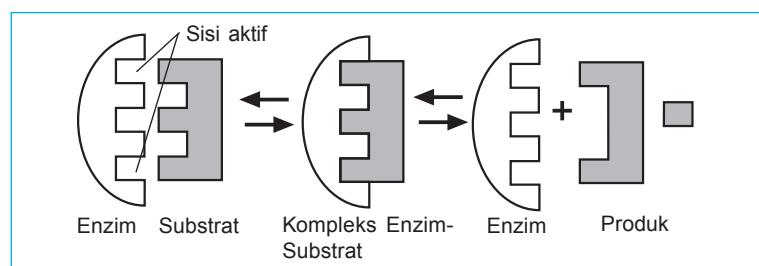
Enzim lengkap atau sering disebut **holoenzim**, terdiri atas komponen protein dan nonprotein. Komponen protein yang menyusun enzim disebut **apoenzim**. Komponen ini mudah mengalami denaturasi, misalnya oleh pemanasan dengan suhu tinggi. Adapun penyusun enzim yang berupa komponen nonprotein dapat berupa komponen organik dan anorganik. Komponen organik yang terikat kuat oleh protein enzim disebut **gugus prostetik**, sedangkan komponen organik yang terikat lemah disebut **koenzim**. Beberapa contoh koenzim antara lain: vitamin (vitamin B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, niasin, dan biotin), NAD (nikotinamida adenin dinukleotida), dan koenzim A (turunan asam pentotenat). Komponen anorganik yang terikat lemah pada protein enzim disebut **kofaktor** atau aktivator, misalnya beberapa ion logam seperti Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, dan Na<sup>+</sup>.

## 2. Cara Kerja Enzim

Salah satu ciri khas enzim yaitu bekerja secara spesifik. Artinya, enzim hanya dapat bekerja pada substrat tertentu. Bagaimana cara kerja enzim? Beberapa teori berikut menjelaskan tentang cara kerja enzim.

### a. *Lock and Key Theory* (Teori Gembok dan Kunci)

Teori ini dikemukakan oleh **Fischer** (1898). Enzim diumpamakan sebagai gembok yang mempunyai bagian kecil dan dapat mengikat substrat. Bagian enzim yang dapat berikatan dengan substrat disebut **sisi aktif**. Substrat diumpamakan kunci yang dapat berikatan dengan sisi aktif enzim. Perhatikan Gambar 2.1 berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

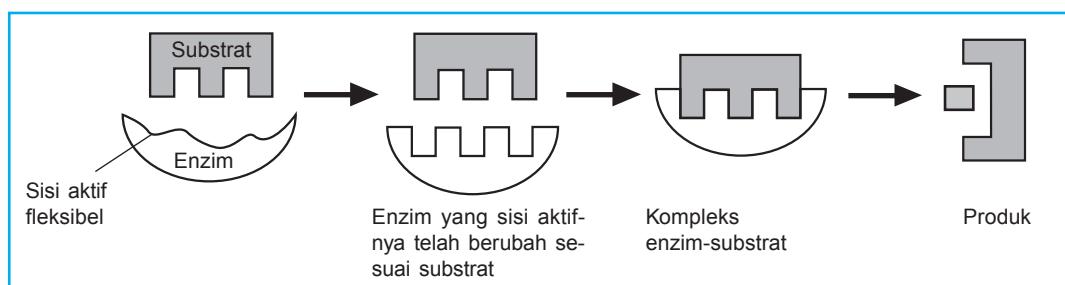
**Gambar 2.1**

Cara kerja enzim *Lock and Key Theory*

Selain sisi aktif, pada enzim juga ditemukan adanya sisi alosterik. Sisi alosterik dapat diibaratkan sebagai sakelar yang dapat menyebabkan kerja enzim meningkat ataupun menurun. Apabila sisi alosterik berikatan dengan penghambat (inhibitor), konfigurasi enzim akan berubah sehingga aktivitasnya berkurang. Namun, jika sisi alosterik ini berikatan dengan aktivator (zat penggiat) maka enzim menjadi aktif kembali.

### b. *Induced Fit Theory* (Teori Ketepatan Induksi)

Sisi aktif enzim bersifat fleksibel sehingga dapat berubah bentuk menyesuaikan bentuk substrat. Perhatikan Gambar 2.2 dan diskusikan dengan teman sebangku.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 2.2**

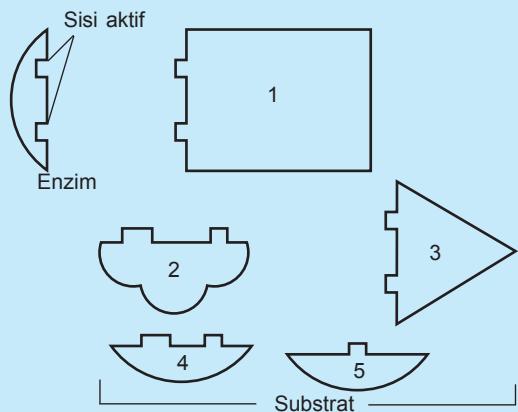
Cara kerja enzim *Induced Fit Theory*

Lakukanlah kegiatan diskusi berikut, agar Anda lebih memahami cara kerja enzim.



### Forum Diskusi

Pada umumnya sebuah enzim hanya mampu menjadi katalisator pada sebuah atau beberapa reaksi kimia, dengan catatan substrat itu mempunyai struktur umum sama, sesuai dengan Teori Gembok dan Kunci. Nah, sekarang perhatikan gambar berikut.



Diskusikan dengan kelompok Anda di antara kelima substrat tersebut. Manakah yang dapat bereaksi dengan enzim? Jelaskan alasannya dan presentasikan di depan kelas.

### 3. Penghambatan Aktivitas Enzim

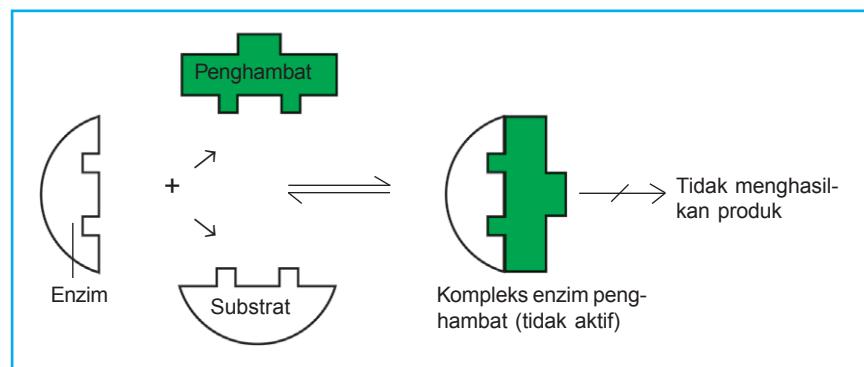
Telah dijelaskan bahwa mekanisme kerja enzim dalam suatu reaksi kimia dilakukan melalui pembentukan kompleks enzim-substrat. Adakalanya reaksi kimia yang dikatalisir enzim mengalami gangguan, yaitu jika enzim itu sendiri mengalami penghambatan. Molekul atau ion yang menghambat kerja enzim disebut **inhibitor**. Terdapat tiga jenis inhibitor, yaitu inhibitor reversibel, inhibitor tidak reversibel, dan inhibitor alosterik.

### a. Inhibitor Reversibel

Inhibitor reversibel meliputi tiga jenis hambatan berikut.

#### 1) Inhibitor kompetitif (hambatan bersaing)

Pada penghambatan ini zat-zat penghambat mempunyai struktur mirip dengan struktur substrat. Dengan demikian, zat penghambat dengan substrat saling berebut (bersaing) untuk bergabung dengan sisi aktif enzim (Gambar 2.3).



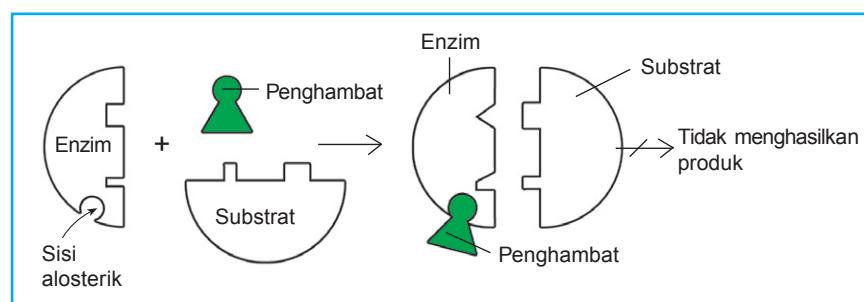
Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 2.3

Inhibitor kompetitif

#### 2) Inhibitor nonkompetitif (hambatan tidak bersaing)

Penghambatan ini dipicu oleh terikatnya zat penghambat pada sisi alosterik sehingga sisi aktif enzim berubah. Akibatnya, substrat tidak dapat berikatan dengan enzim untuk membentuk kompleks enzim-substrat (Gambar 2.4).



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 2.4

Inhibitor nonkompetitif

#### 3) Inhibitor umpan balik

Hasil akhir (produk) suatu reaksi dapat menghambat bekerjanya enzim. Akibatnya, reaksi kimia akan berjalan lambat. Apabila produk disingkirkan, reaksi akan berjalan lagi.

### b. Inhibitor Tidak Reversibel

Hambatan ini terjadi karena inhibitor bereaksi tidak reversibel dengan bagian tertentu pada enzim sehingga mengakibatkan bentuk enzim berubah. Perubahan bentuk enzim ini mengakibatkan berkurangnya aktivitas katalitik enzim tersebut. Hambatan tidak reversibel umumnya disebabkan oleh terjadinya proses destruksi atau modifikasi sebuah gugus enzim atau lebih yang terdapat pada molekul enzim.

### c. Inhibitor Alosterik

Pada penghambatan alosterik, molekul zat penghambat tidak berikatan pada sisi aktif enzim, melainkan berikatan pada sisi alosterik. Akibat penghambatan ini sisi aktif enzim menjadi tidak aktif karena telah mengalami perubahan bentuk.

## 4. Sifat-Sifat Enzim

Secara ringkas sifat-sifat enzim dijelaskan sebagai berikut.

- a. Enzim merupakan biokatalisator.

Enzim dalam jumlah sedikit saja dapat mempercepat reaksi beribu-ribu kali lipat, tetapi ia sendiri tidak ikut bereaksi.

- b. Enzim bekerja secara spesifik.

Enzim tidak dapat bekerja pada semua substrat, tetapi hanya bekerja pada substrat tertentu saja. Misalnya, enzim katalase hanya mampu menghidrolisis  $H_2O_2$  menjadi  $H_2O$  dan  $O_2$ .

- c. Enzim berupa koloid.

Enzim merupakan suatu protein sehingga dalam larutan enzim membentuk suatu koloid. Hal ini menambah luas bidang permukaan enzim sehingga aktivitasnya lebih besar.

- d. Enzim dapat bereaksi dengan substrat asam maupun basa.

Sisi aktif enzim mempunyai gugus R residu asam amino spesifik yang merupakan pemberi atau penerima protein yang sesuai.

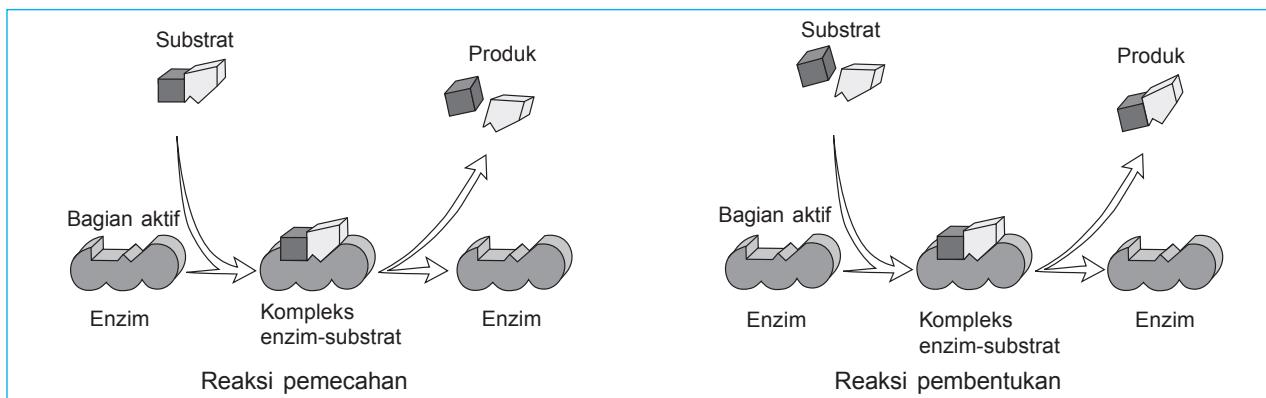
- e. Enzim bersifat termolabil.

Aktivitas enzim dipengaruhi oleh suhu. Jika suhu rendah, kerja enzim akan lambat. Semakin tinggi suhu, reaksi kimia yang dipengaruhi enzim semakin cepat, tetapi jika suhu terlalu tinggi, enzim akan mengalami denaturasi.

- f. Kerja enzim bersifat bolak-balik (reversibel).

Enzim tidak dapat menentukan arah reaksi, tetapi hanya mempercepat laju reaksi mencapai kesetimbangan. Misalnya enzim lipase dapat mengubah lemak menjadi asam lemak dan gliserol. Sebaliknya, lipase juga mampu menyatukan gliserol dan asam lemak menjadi lemak.

Enzim tidak hanya menguraikan molekul kompleks, tetapi juga dapat membentuk molekul kompleks dari molekul-molekul sederhana penyusunnya (reaksi bolak-balik). Perhatikanlah skema pada Gambar 2.5 berikut agar Anda dapat memahami sifat enzim dengan lebih jelas.



Sumber: Biology, Mader, S. S.

**Gambar 2.5**

Kerja enzim bersifat bolak-balik (reversibel)

Seperti halnya reaksi kimia, reaksi enzimatis juga dipengaruhi oleh faktor-faktor tertentu, contoh enzim laktase. Enzim ini terdapat pada organ hati. Laktase berfungsi mengubah hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) menjadi  $H_2O$  dan  $O_2$ . Lakukanlah kegiatan berikut agar Anda mendapat gambaran tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim.



## Eksperimen 1

### Mengetahui Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kerja Enzim

- Siapkan tabung reaksi dan berilah label nomor 1 sampai dengan 5.
- Ambillah 2 ml larutan hidrogen peroksida menggunakan pipet. Kemudian masukkan ke dalam setiap tabung.
- Potonglah hati sebanyak tiga potong dengan ukuran sama, misalnya sebesar dadu.
- Rebuslah sepotong hati, kemudian dinginkan. Setelah dingin masukkan ke dalam tabung I.
- Masukkan sepotong hati segar ke dalam tabung II.
- Potonglah hati yang ketiga menjadi dua bagian sama besar. Kemudian masukkan dalam tabung III.
- Potonglah Kentang dan daging kambing atau sapi segar sebesar dadu. Selanjutnya, masukkan dalam tabung IV dan V.
- Amatilah adanya reaksi pada kelima tabung. Jika terjadi reaksi enzimatis, akan terbentuk gelembung udara yang keluar dari larutan hidrogen peroksida.

### Hasil Pengamatan:

Tabung	Jaringan	Perlakuan	Banyak Gelembung	Tingkat Reaksi
I	Hati yang telah direbus			
II	Hati segar A			
III	Hati segar B			
IV	Kentang			
V	Daging kambing atau sapi segar			

**Catatan:** Isilah pada kolom tingkat reaksi dengan: tidak terjadi reaksi, reaksi lambat, dan reaksi cepat.

### Pertanyaan:

- Pada tabung nomor berapakah tidak terjadi reaksi kimia? Mengapa demikian?
- Pada tabung nomor berapakah terjadi reaksi kimia? Mengapa demikian?
- Di antara tabung-tabung yang di dalamnya terjadi reaksi kimia, pada tabung manakah yang reaksi kimianya paling cepat? Mengapa demikian?
- Apa kesimpulan dari kegiatan ini? Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan presentasikan.

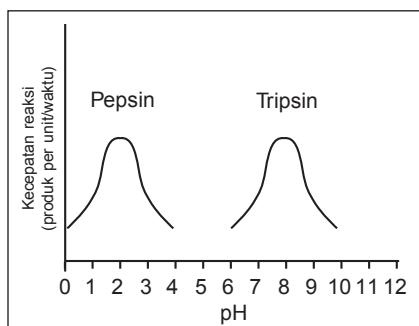
Berdasarkan kegiatan di depan, kita dapat mengetahui dua faktor yang mempengaruhi kerja enzim, yaitu suhu dan konsentrasi enzim. Berikut akan dijelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim.

### a. Suhu (Temperatur)

Aktivitas enzim dipengaruhi oleh suhu. Enzim pada suhu 0°C tidak aktif, akan tetapi juga tidak rusak. Jika suhu dinaikkan sampai batas optimum, aktivitas enzim semakin meningkat. Jika suhu melebihi batas optimum, dapat menyebabkan denaturasi protein yang berarti enzim telah rusak. Suhu optimum untuk aktivitas enzim pada manusia dan hewan berdarah panas  $\pm$  37°C, sedangkan pada hewan berdarah dingin  $\pm$  25°C. Hubungan antara suhu dengan kecepatan reaksi (enzimatis) dijelaskan dalam Gambar 2.6 di samping.

### b. pH (Derajat Keasaman)

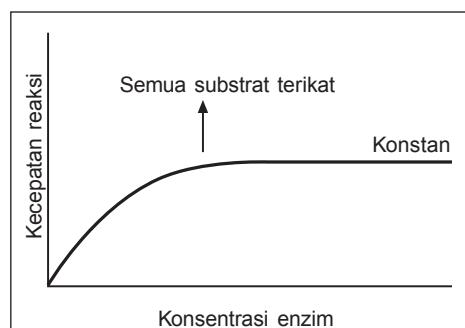
Enzim mempunyai pH optimum yang dapat bersifat asam maupun basa. Sebagian besar enzim pada manusia mempunyai pH optimum antara 6–8, misalnya enzim tripsin yang mendegradasi protein. Namun, ada beberapa enzim yang aktif pada kondisi asam, misalnya enzim pepsin. Perubahan pH dapat mempengaruhi efektivitas sisi aktif enzim dalam membentuk kompleks enzim-substrat. Selain itu, perubahan pH dapat menyebabkan terjadinya proses denaturasi sehingga menurunkan aktivitas enzim. Grafik hubungan antara pH dengan kecepatan reaksi dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Sumber: Biology, Mader, S. S.

**Gambar 2.7**

Grafik hubungan antara pH dengan kecepatan reaksi



Sumber: Biology, Mader, S. S.

**Gambar 2.8**

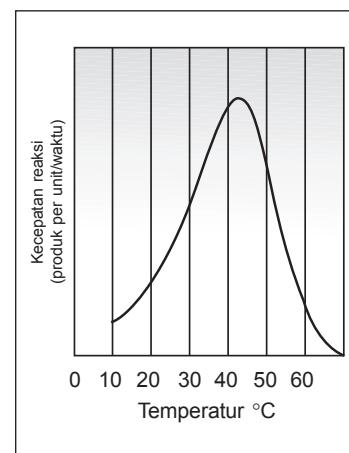
Grafik hubungan antara konsentrasi enzim dengan kecepatan reaksi

### c. Konsentrasi Enzim

Pada umumnya konsentrasi enzim berbanding lurus dengan kecepatan reaksi. Hal ini berarti penambahan konsentrasi enzim mengakibatkan kecepatan reaksi meningkat hingga dicapai kecepatan konstan. Kecepatan konstan tercapai apabila semua substrat sudah terikat oleh enzim. Perhatikan grafik pada Gambar 2.8 di atas.

### d. Zat-zat Penggiat (Aktivator)

Terdapat zat kimia tertentu yang dapat meningkatkan aktivitas enzim. Misalnya, garam-garam dari logam alkali dalam kondisi encer (2%–5%) dapat memacu kerja enzim. Demikian pula dengan ion logam Co, Mg, Ni, Mn, dan Cl. Akan tetapi, mekanisme kerja zat penggiat ini belum diketahui secara pasti.



Sumber: Biology, Mader, S. S.

**Gambar 2.6**

Grafik hubungan antara temperatur dengan kecepatan reaksi

### e. Zat-Zat Penghambat (Inhibitor)

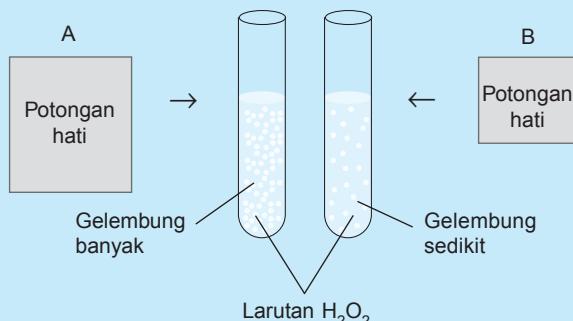
Beberapa zat kimia dapat menghambat aktivitas enzim, misalnya garam-garam yang mengandung merkuri (Hg) dan sianida. Dengan adanya zat penghambat ini, enzim tidak dapat berikatan dengan substrat sehingga tidak dapat menghasilkan suatu produk.



### Uji Kompetensi A

Jawablah soal-soal berikut.

1. Apa maksud pernyataan bahwa enzim merupakan biokatalisator?
2. Perhatikan skema berikut.



Jika potongan hati dianggap sebanding dengan banyaknya enzim laktase, apa kesimpulan Anda dari kegiatan di atas?

3. Enzim ptialin mampu mengubah karbohidrat menjadi glukosa dalam suasana netral. Enzim ini selanjutnya bersama makanan menuju lambung yang bersuasana asam. Bagaimana kerja enzim ptialin tersebut dalam lambung? Jelaskan.
4. Jelaskan perbedaan penghambat kompetitif dengan penghambat nonkompetitif.
5. Jelaskan maksud dari kerja enzim bersifat spesifik.

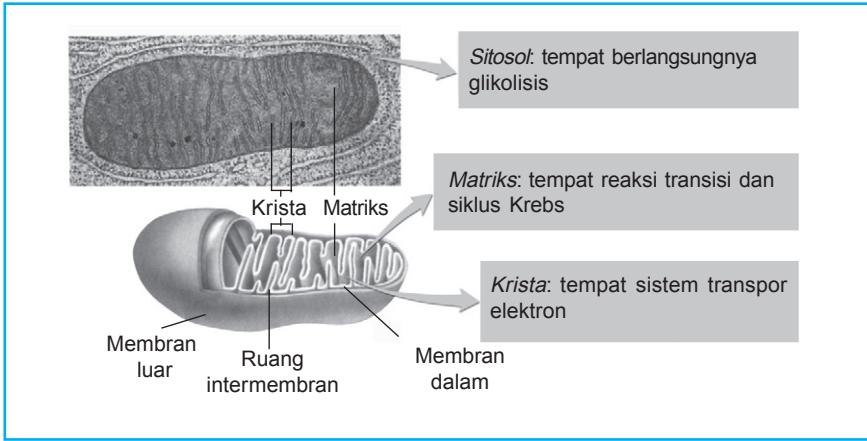
## B. Katabolisme

Ketika kita melakukan aktivitas, misalnya berolahraga, dalam tubuh terjadi pembakaran glukosa dan lemak menjadi energi atau panas. Pemecahan glukosa dan lemak atau bahan makanan lain yang menghasilkan energi atau panas disebut **katabolisme**. Dengan kata lain, katabolisme dapat diartikan sebagai proses pemecahan molekul-molekul kompleks menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana dengan menghasilkan sejumlah energi.

### 1. Respirasi

Respirasi adalah proses reduksi, oksidasi, dan dekomposisi, baik menggunakan oksigen maupun tidak dari senyawa organik kompleks menjadi senyawa lebih sederhana dan dalam proses tersebut dibebaskan sejumlah energi. Tenaga yang dibebaskan dalam respirasi berasal dari tenaga potensial kimia yang berupa ikatan kimia.

Respirasi yang memerlukan oksigen disebut respirasi aerob dan respirasi yang tidak memerlukan oksigen disebut respirasi anaerob. Respirasi anaerob hanya dapat dilakukan oleh kelompok mikroorganisme tertentu (bakteri), sedangkan pada organisme tingkat tinggi belum diketahui kemampuannya untuk melakukan respirasi anaerob. Dengan demikian bila tidak tersedia oksigen, organisme tingkat tinggi tidak akan melakukan respirasi anaerob melainkan akan melakukan proses fermentasi. Sementara itu, terdapat respirasi sempurna yang hasil akhirnya berupa  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  dan respirasi tidak sempurna yang hasil akhirnya berupa senyawa organik.



Sumber: *Inquiry Into Life*, Mader, S. S.

**Gambar 2.9**

Struktur mitokondria

Di manakah reaksi respirasi berlangsung? Sebagian reaksi respirasi berlangsung dalam mitokondria dan sebagian yang lain terjadi di sitoplasma. Mitokondria mempunyai membran ganda (luar dan dalam) serta ruangan intermembran (di antara membran luar dan dalam). Krista merupakan lipatan-lipatan dari membran dalam. Ruangan paling dalam berisi cairan seperti gel yang disebut **matriks**. Perhatikan Gambar 2.9. ATP paling banyak dihasilkan selama respirasi pada mitokondria sehingga mitokondria sering disebut **mesin sel**.

Pada awal bab ini telah dijelaskan bahwa berdasarkan kebutuhan oksigen, terdapat dua jenis respirasi yaitu respirasi aerob dan respirasi anaerob. Bagaimanakah proses kimia pada masing-masing jenis respirasi? Marilah kita pelajari dalam uraian berikut.

#### a. Respirasi Aerob

Berdasarkan jalur reaksinya, respirasi aerob dibedakan menjadi dua yaitu respirasi aerob melalui jalur daur Krebs dan jalur oksidasi langsung atau jalur pentosa fosfat (*Hexose Monophosphat Shunt* = HMS). Apa perbedaan kedua jalur itu?

##### 1) Respirasi Aerob Melalui Jalur Daur Krebs

Respirasi aerob melalui daur Krebs memiliki empat tahap yaitu glikolisis, pembentukan asetyl Co-A, daur Krebs, dan sistem transpor elektron.

##### a) Glikolisis

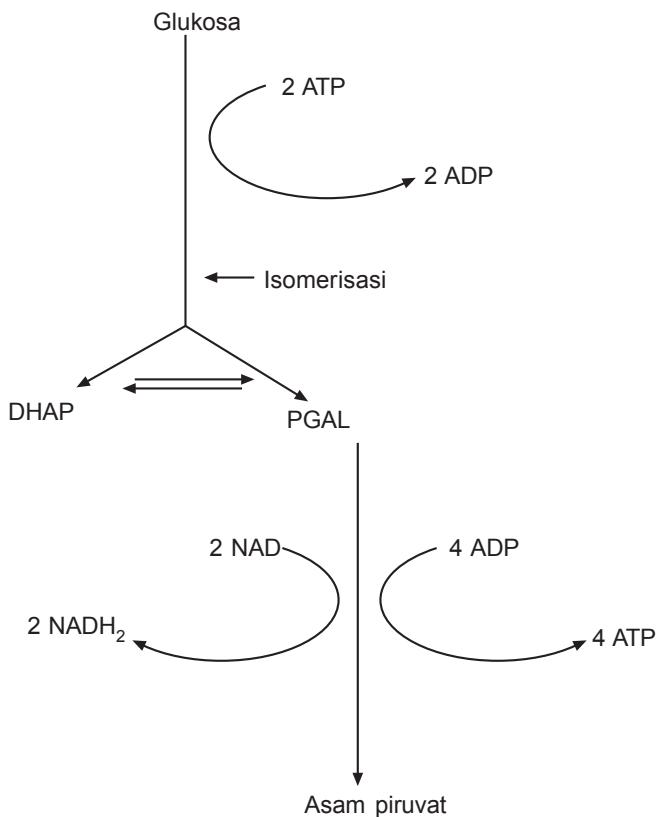
Glikolisis terjadi dalam sitoplasma dan hasil akhirnya berupa senyawa asam piruvat. Selain menghasilkan 2 molekul asam piruvat, dalam glikolisis juga dihasilkan 2 molekul NADH<sub>2</sub> dan 2 ATP jika tumbuhan dalam keadaan normal (melalui jalur *ATP fosfofruktokinase*) atau 3 ATP jika tumbuhan dalam keadaan stress atau sedang aktif tumbuh (melalui jalur *pirofosfat fosfofruktokinase*). ATP yang dihasilkan dalam reaksi glikolisis dibentuk melalui reaksi fosforilasi tingkat substrat. Bagaimanakah reaksi kimia yang terjadi dalam glikolisis? Coba pelajari skema proses glikolisis pada Gambar 2.10 berikut.



#### Tahukah Anda

##### Apakah Reaksi Fosforilasi Itu?

Reaksi fosforilasi adalah reaksi penggabungan gugus fosfat organik ke dalam senyawa organik (ADP) menggunakan sejumlah energi, sehingga dapat membentuk ikatan fosfat berenergi tinggi (ATP). Energi yang digunakan untuk membentuk ikatan fosfat tersebut pada keadaan standar sebesar 7.000 kal/mol.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 2.10**

Rangkaian proses glikolisis, diawali dengan glukosa dan diakhiri dengan piruvat

Piruvat merupakan hasil akhir jalur glikolisis. Jika berlangsung respirasi aerobik, piruvat memasuki mitokondria dan segera mengalami proses lebih lanjut. Hasil akhir glikolisis sebagai berikut.

Input	Output
glukosa 2 NAD <sup>+</sup> 2 ATP 2 ADP + 2 P	2 asam piruvat 2 NADH 4 ATP

Secara ringkas glikolisis dapat digambarkan dalam reaksi kimia berikut.



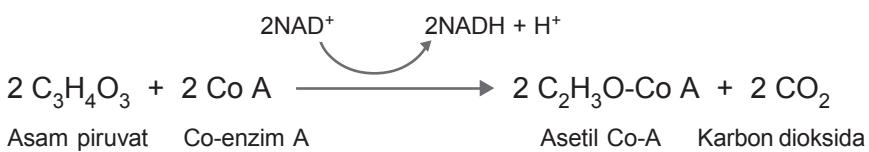
### Forum Diskusi

Cermati dan pelajari kembali skema glikolisis di depan. Diskusikan dengan kelompok Anda untuk menjelaskan glikolisis secara sederhana dan mudah. Jangan lupa sebutkan enzim yang berperan dalam setiap tahap glikolisis. Paparkan hasil diskusi di kelas.

b) *Pembentukan Asetil Co-A atau Reaksi Transisi*

Reaksi pembentukan asetil Co-A sering disebut **reaksi transisi** karena menghubungkan glikolisis dengan daur Krebs. Pembentukan asetil Co-A pada organisme eukariotik berlangsung dalam matriks mitokondria, sedangkan pada organisme prokariotik berlangsung dalam sitosol.

Pada reaksi ini, asam piruvat dikonversi menjadi gugus asetil (2C) yang bergabung dengan Co-enzim A membentuk asetil Co-A dan melepaskan  $\text{CO}_2$ . Reaksi ini terjadi 2 kali untuk setiap 1 molekul glukosa. Perhatikan reaksi pembentukan asetil Co-A berikut.

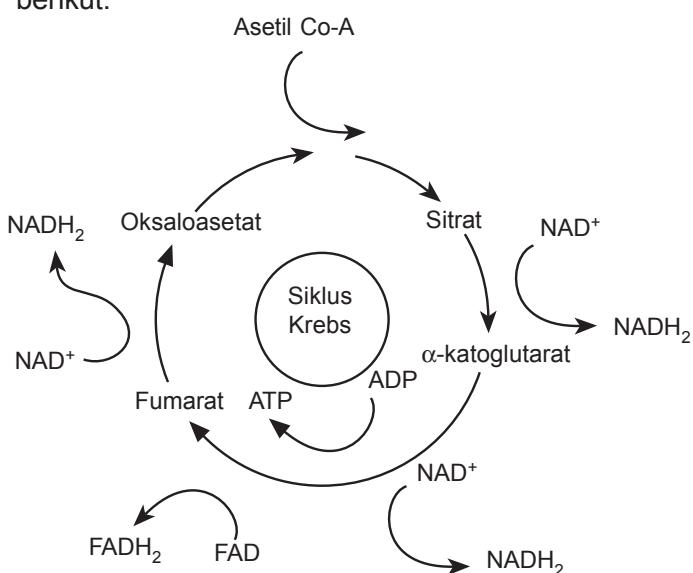


Daur Krebs  
disebut juga daur asam sitrat atau daur asam trikarboksilat.



c) *Daur Krebs*

Daur Krebs terjadi di dalam matriks mitokondria. Daur Krebs menghasilkan senyawa antara yang berfungsi sebagai penyedia kerangka karbon untuk sintesis senyawa lain. Selain sebagai penyedia kerangka karbon, daur Krebs juga menghasilkan 3 NADH<sub>2</sub>, 1 FADH<sub>2</sub>, dan 1 ATP untuk setiap satu asam piruvat. Senyawa NADH dan FADH<sub>2</sub> selanjutnya akan dioksidasi dalam sistem transpor elektron untuk menghasilkan ATP. Oksidasi 1 NADH menghasilkan 3 ATP, sedangkan oksidasi 1 FADH<sub>2</sub> menghasilkan 2 ATP. Berbeda dengan glikolisis, pembentukan ATP pada daur Krebs terjadi melalui reaksi fosforilasi oksidatif. Reaksi yang terjadi pada daur Krebs dapat Anda pelajari melalui Gambar 2.11 berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 2.11**

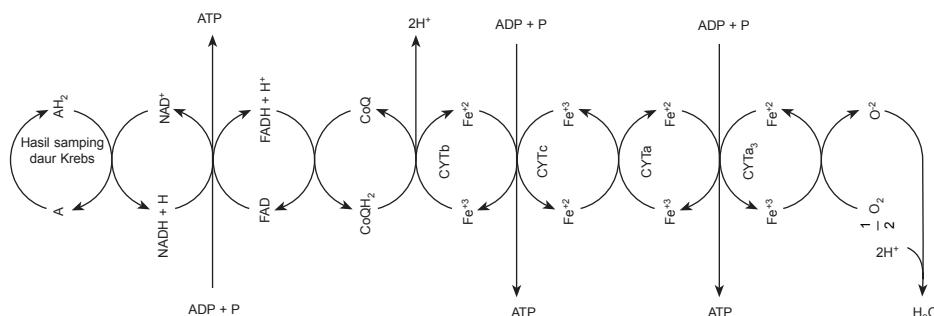
Daur Krebs

Adapun hasil akhir daur Krebs ditampilkan sebagai berikut.

Input	Output
2 Asetil 2 ADP + 2 P 6 NAD <sup>+</sup> 2 FAD	4 CO <sub>2</sub> 2 ATP 6 NADH 2 FADH <sub>2</sub>

#### d) Sistem transpor elektron

Sistem transpor elektron merupakan suatu rantai pembawa elektron yang terdiri atas NAD, FAD, koenzim Q, dan sitokrom. Sistem transpor elektron terjadi dalam membran mitokondria. Sistem transpor elektron ini berfungsi untuk mengoksidasi senyawa NADH atau NADPH<sub>2</sub> dan FADH<sub>2</sub> untuk menghasilkan ATP. Perhatikan skema sistem transpor elektron pada Gambar 2.12 berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 2.12**  
Sistem transpor elektron

#### Di Mana Tempat Terjadinya Reaksi Fosforilasi?

Reaksi fosforilasi dalam glikolisis dan daur Krebs terjadi pada pengubahan senyawa berikut.

1. 3 fosfogliseraldehid → 1,3-difosfoglisrat
2. Piruvat → asetil Co-A
3. Isositrat → α-ketoglutarat
4. α-ketoglutarat → suksinil Co-A
5. Suksinat → fumarat
6. Malat → oksaloasetat

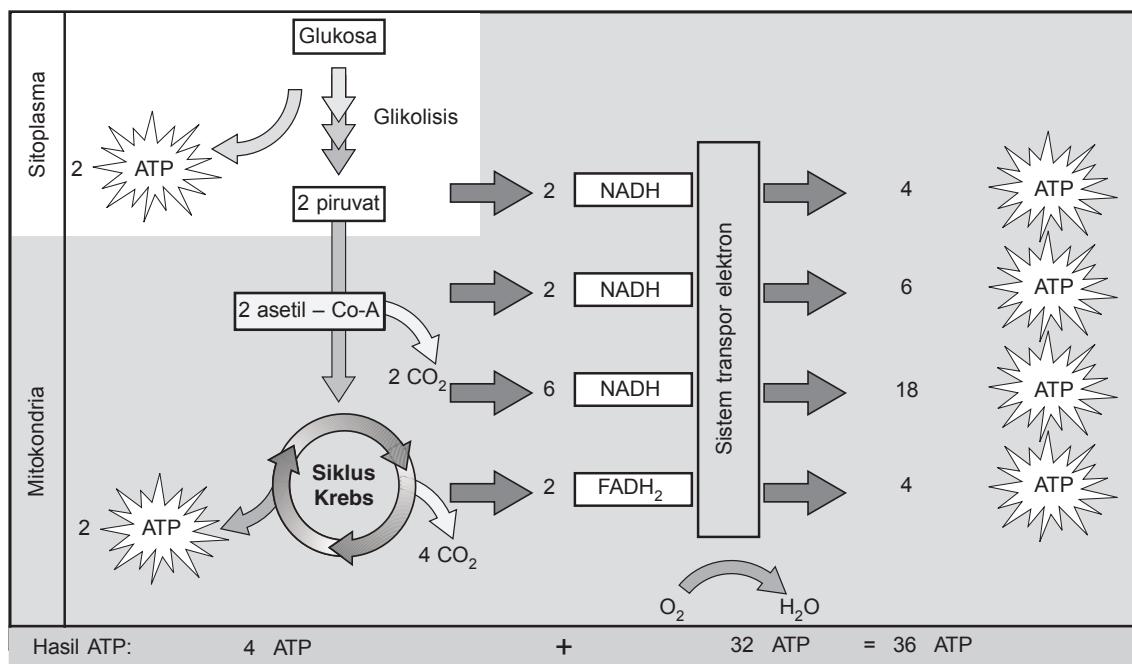
Mengingat oksidasi NADH atau NADPH<sub>2</sub> dan FADH<sub>2</sub> terjadi di dalam membran mitokondria, sedangkan ada NADH yang dibentuk di sitoplasma (dalam proses glikolisis), maka untuk memasukkan setiap 1 NADH dari sitoplasma ke dalam mitokondria diperlukan 1 ATP. Keadaan ini akan mempengaruhi total hasil bersih respirasi aerob pada organisme eukariotik. Organisme prokariotik tidak memiliki sistem membran dalam sehingga tidak diperlukan ATP lagi untuk memasukkan NADH ke dalam mitokondria. Akibatnya total hasil bersih ATP yang dihasilkan respirasi aerob pada organisme prokariotik lebih tinggi daripada eukariotik.

Energi (ATP) dalam sistem transpor elektron terbentuk melalui reaksi fosforilasi oksidatif. Energi yang dihasilkan oleh oksidasi 1 mol NADH atau NADPH<sub>2</sub> dapat digunakan untuk membentuk 3 mol ATP. Reaksinya sebagai berikut.



Sementara itu, energi yang dihasilkan oleh oksidasi 1 mol FADH<sub>2</sub> dapat menghasilkan 2 mol ATP.

Berapakah jumlah total ATP yang dihasilkan selama proses respirasi aerob pada organisme eukariotik? Perhatikan Gambar 2.13 berikut.



Sumber: Biology, Mader, S. S.

**Gambar 2.13**

Jumlah energi yang dihasilkan dari setiap molekul glukosa pada organisme eukariotik

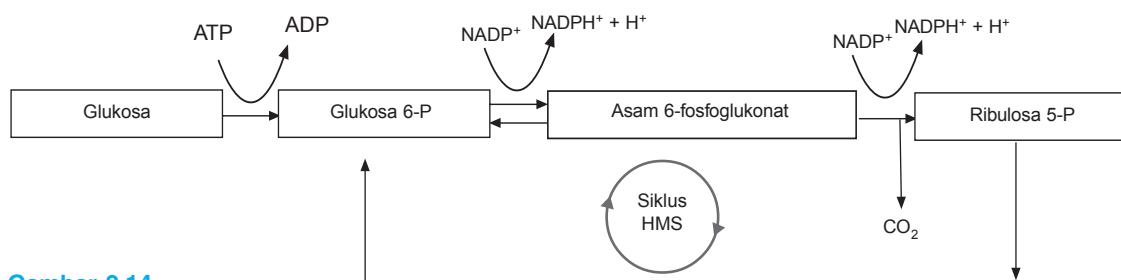
Berdasarkan Gambar 2.13 tersebut tampak bahwa pada organisme eukariotik setiap molekul glukosa akan menghasilkan 36 ATP dalam respirasi. Hasil ini berbeda dengan respirasi pada organisme prokariotik. Telah diketahui bahwa oksidasi NADH atau NADPH<sub>2</sub> dan FADH<sub>2</sub> terjadi dalam membran mitokondria, namun ada NADH yang dibentuk di sitoplasma (dalam proses glikolisis). Pada organisme eukariotik, untuk memasukkan setiap 1 NADH dari sitoplasma ke dalam mitokondria diperlukan 1 ATP. Dengan demikian, 2 NADH dari glikolisis menghasilkan hasil bersih 4 ATP setelah dikurangi 2 ATP. Sementara itu, pada organisme prokariotik, karena tidak memiliki sistem membran dalam maka tidak diperlukan ATP lagi untuk memasukkan NADH ke dalam mitokondria sehingga 2 NADH menghasilkan 6 ATP. Akibatnya total hasil bersih ATP yang dihasilkan respirasi aerob pada organisme prokariotik, yaitu 38 ATP.

Bagaimanakah efisiensi respirasi? Pembakaran glukosa secara sempurna menghasilkan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  di luar tubuh makhluk hidup dan dihasilkan pula energi sebesar 680 kkal. Dari uraian di depan telah diketahui bahwa melalui respirasi 1 molekul glukosa menghasilkan 36 ATP. Sebuah ATP setara dengan 10 kkal energi sehingga perombakan glukosa dalam tubuh makhluk hidup melalui respirasi menghasilkan  $= 10 \text{ kkal} \times 36 = 360 \text{ kkal}$ . Jika jumlah energi itu dibandingkan, akan diperoleh hasil efisiensi respirasi sebesar:

$$\frac{360 \text{ kkal}}{680 \text{ kkal}} \times 100 \% = 53\%$$

## 2) *Respirasi Aerob Melalui Oksidasi Langsung atau Jalur Pentosa Fosfat (Hexose Monophosphate Shunt = HMS)*

Daur ini diawali dengan proses fosforilasi glukosa dengan fosfor yang berasal dari ATP sehingga terbentuk glukosa 6-fosfat. Selanjutnya, glukosa 6-fosfat dioksidasi dengan NADP terbentuk 6-fosfoglukonat. Tahap selanjutnya, 6-fosfoglukonat didekarboksilasi dan dioksidasi dengan NADP sehingga terbentuk ribulosa 5-fosfat. Ribulosa 5-fosfat melanjutkan siklus sehingga terbentuk kembali glukosa 6-fosfat. Perhatikan skema pada Gambar 2.14 berikut untuk membantu pemahaman Anda.



**Gambar 2.14**  
Jalur pentosa fosfat (HMS)

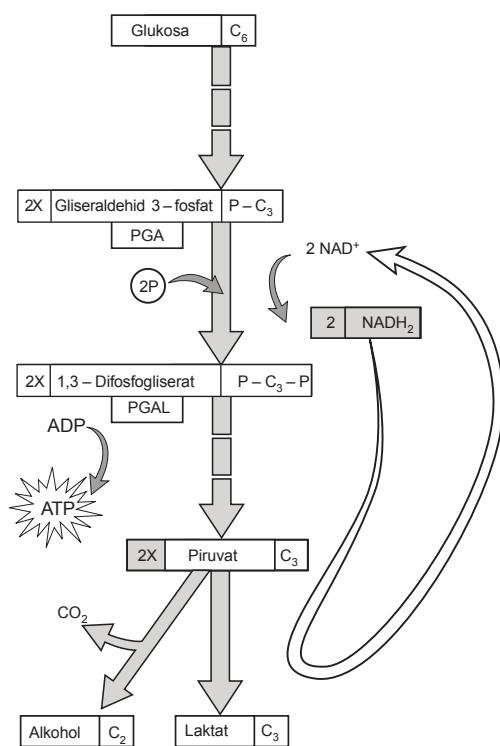
Pada daur HMS, setiap keluar  $\text{CO}_2$  akan dihasilkan 2  $\text{NADPH}_2$ . Selanjutnya,  $\text{NADPH}_2$  dioksidasi dalam sistem transpor elektron. Pada daur ini, dihasilkan senyawa antara berupa gula, sedangkan pada daur Krebs berupa asam organik. Pada daur HMS dihasilkan gula ribulosa 6-fosfat (gula beratom C=5) yang merupakan gula penting untuk membentuk nukleotida. Nukleotida merupakan senyawa yang sangat penting karena berperan antara lain sebagai penyusun ATP dan DNA.

### b. Respirasi Anaerob

Respirasi anaerob terjadi bila tidak ada oksigen. Perlu diingat, bahwa dalam respirasi aerob oksigen berperan sebagai penerima elektron terakhir. Bila peran oksigen digantikan oleh zat lain, terjadilah respirasi anaerob. Organella dan reaksi-reaksi yang terlibat dalam proses respirasi aerob sama dengan respirasi anaerob. Adapun zat lain yang dapat menggantikan peran oksigen antara lain  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$ . Sejauh ini baru diketahui bahwa yang dapat menggunakan zat pengganti oksigen merupakan golongan mikroorganisme. Dengan demikian, organisme tingkat tinggi tidak dapat melakukan respirasi anaerob. Bagaimana organisme tingkat tinggi mengubah energi potensial kimia menjadi energi kinetik jika tidak ada oksigen? Apabila tidak tersedia oksigen, organisme tingkat tinggi mengubah energi potensial kimia menjadi energi kinetik melalui proses fermentasi.

## 2. Fermentasi

Fermentasi terjadi bila tidak tersedia cukup oksigen. Respirasi anaerob juga terjadi bila tidak terdapat oksigen. Akan tetapi, bukan berarti fermentasi sama dengan respirasi anaerob. Salah satu perbedaannya antara lain terletak pada keterlibatan organela mitokondria pada respirasi anaerob yang berfungsi untuk mengoksidasi  $\text{NADH}_2$  atau  $\text{NADPH}_2$ . Sementara itu, pada fermentasi tidak melibatkan mitokondria. Dengan demikian perbedaan respirasi anaerob dengan fermentasi juga terletak pada proses-proses yang terjadi dalam mitokondria. Perhatikan skema Gambar 2.15.



Sumber: Biology, Mader, S. S.

**Gambar 2.15**

Fermentasi

### a. Fermentasi Asam Laktat

Bagaimana fermentasi asam laktat berlangsung? Telah diketahui bahwa glikolisis menghasilkan asam piruvat. Tanpa adanya oksigen, asam piruvat tidak dapat masuk ke siklus Krebs di mitokondria. Namun, asam piruvat akan mengalami reduksi secara langsung oleh NADH membentuk senyawa 3C, yaitu asam laktat, tanpa melepaskan  $\text{CO}_2$ .

Fermentasi asam laktat dari jamur dan bakteri tertentu dimanfaatkan dalam pembuatan keju dan yoghurt. Sel otot juga mampu melakukan fermentasi asam laktat, jika asam piruvat mengalami proses reduksi, bukan oksidasi seperti dalam siklus Krebs. Kapan sel otot melakukan fermentasi asam laktat? Ketika tubuh membutuhkan energi yang besar dalam waktu singkat, otot akan melakukan fermentasi. Misalnya pada atlet lari cepat (*sprint*). Atlet tersebut membutuhkan oksigen sangat besar saat lari. Selanjutnya, dengan oksigen yang banyak asam piruvat akan masuk siklus Krebs seperti kondisi normal, sehingga pembentukan ATP (energi) juga besar. Ketika berlari, pasokan oksigen untuk tubuh berkurang. Padahal masih dibutuhkan energi (ATP) yang besar untuk berlari. Oleh karena itu asam piruvat diubah menjadi asam laktat. Hal ini karena asam laktat tetap dapat menghasilkan ATP meskipun jumlah oksigen dalam tubuh terbatas. Laktat sebenarnya merupakan racun bagi sel, sehingga laktat yang terbentuk dalam sel otot akan dibawa keluar oleh darah menuju hati. Laktat selanjutnya diubah menjadi asam piruvat. Oleh karenanya, ATP dapat segera diperoleh kembali melalui daur Krebs. Apabila atlet tersebut sudah selesai beraktivitas kemudian melakukan istirahat yang cukup serta jumlah  $\text{O}_2$  dalam tubuh terpenuhi, asam laktat yang telah diubah menjadi asam piruvat dapat memasuki daur krebs kembali. Selanjutnya, pelari tersebut dapat memperoleh ATP dari respirasi aerob seperti kondisi semula.

### b. Fermentasi Alkohol

Fermentasi alkohol, misalnya terjadi pada khamir. Mikroorganisme ini mempunyai enzim yang mendekarboksilasi piruvat menjadi asetaldehid (senyawa dengan 2C) dengan melepaskan  $\text{CO}_2$ . Selanjutnya oleh NADH, asetaldehid direduksi menjadi etilalkohol.

Khamir (*yeast*) merupakan salah satu contoh organisme yang menghasilkan alkohol dan  $\text{CO}_2$ . Yeast digunakan dalam pembuatan roti.  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan mengakibatkan roti mengembang. Yeast juga digunakan untuk memfermentasikan gula dalam pembuatan anggur, dalam hal ini dihasilkan etilalkohol. Sebutkan contoh lain dari fermentasi alkohol.

Lakukanlah kegiatan diskusi berikut agar pemahaman Anda tentang fermentasi menjadi lebih jelas.



## Forum Diskusi

Bandingkan reaksi yang berlangsung dalam fermentasi asam laktat dan fermentasi alkohol. Setelah itu, diskusikan beberapa pertanyaan berikut.

1. Berapa jumlah ATP yang dihasilkan dalam pemecahan glukosa melalui fermentasi?
2. Tuliskan reaksi kimia fermentasi asam laktat dan fermentasi alkohol.
3. Lebih efektif manakah, penghasilan ATP melalui respirasi aerob atau melalui fermentasi?

Tulislah hasil diskusi Anda dalam buku kerja. Selanjutnya, presentasikan di depan kelas.

Bagaimana efisiensi energi dalam fermentasi? Telah Anda ketahui bahwa selama fermentasi dihasilkan 2 ATP yang setara dengan 20 kkal energi. Sementara itu, pembakaran glukosa menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  menghasilkan energi sebesar 680 kkal. Dengan demikian efisiensi fermentasi sebesar:

$$\frac{20 \text{ kkal}}{680 \text{ kkal}} \times 100\% = 2,9 \%$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diketahui bahwa tingkat efisiensi fermentasi jauh lebih rendah dibandingkan tingkat efisiensi respirasi.



## Uji Kompetensi B

Jawablah soal-soal berikut.

1. Jelaskan reaksi glikolisis pada tahap fosforilasi. Lengkapi dengan bagan.
2. Jelaskan perolehan ATP pada setiap tahap respirasi aerob melalui jalur daur Krebs.
3. Samakah pengertian fermentasi dengan respirasi anaerob? Jelaskan.

4. Berapa jumlah ATP yang dihasilkan oleh satu molekul glukosa melalui fermentasi?
5. Jelaskan dua tahapan dalam fermentasi alkohol.
6. Kapan sel otot melakukan fermentasi asam laktat?

## C. Anabolisme

Anabolisme adalah peristiwa penyusunan zat dari senyawa sederhana menjadi senyawa lebih kompleks yang berlangsung dalam tubuh makhluk hidup. Penyusunan senyawa kimia umumnya memerlukan energi, misalnya energi cahaya dalam fotosintesis dan energi kimia dalam kemosintesis.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 2.16**

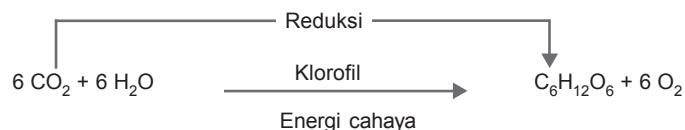
Daun pisang dapat melakukan fotosintesis

## 1. Fotosintesis

Apa yang ada dalam pikiran Anda tentang sebuah daun? Puji syukur seharusnya kita panjatkan kepada Tuhan pencipta alam semesta dengan segala isinya. Mengapa? Dalam daun ini Tuhan menciptakan pengolah bahan makanan pertama di dunia melalui proses fotosintesis. Daun pisang seperti pada Gambar 2.16 di samping dapat melakukan fotosintesis sehingga menghasilkan karbohidrat yang disimpan di dalam buahnya. Buah pisang dapat menjadi bahan makanan bagi manusia. Sebuah bukti keagungan Tuhan yang telah menciptakan sistem yang sempurna dalam tubuh makhluk hidup, termasuk tumbuhan. Mudah-mudahan uraian ini semakin menambah wawasan kita akan keagungan Tuhan.

Organisme yang dapat melakukan proses fotosintesis seperti tumbuhan dan algae menghasilkan bahan organik untuk biosfer. Bahan organik sebagai sumber energi untuk pertumbuhan, perkembangan, dan pemeliharaan.

Fotosintesis berasal dari kata *foton* yang artinya cahaya dan *sintesis* yang artinya penyusunan. Jadi, fotosintesis adalah proses penyusunan bahan organik (karbohidrat) dari  $H_2O$  dan  $CO_2$  dengan bantuan energi cahaya. Proses ini hanya dapat terjadi pada tumbuhan yang mempunyai klorofil, yaitu pigmen yang berfungsi sebagai penangkap energi cahaya matahari. Jadi, fotosintesis merupakan transformasi energi dari energi cahaya matahari dikonversi menjadi energi kimia yang terikat dalam molekul karbohidrat. Proses ini berlangsung melalui reaksi berikut.



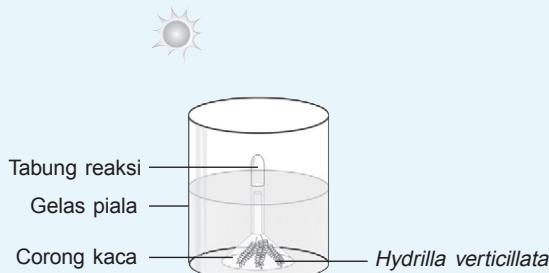
**Ingenhousz** (1799) melakukan eksperimen untuk membuktikan bahwa peristiwa fotosintesis melepaskan  $O_2$ . Ingenhousz dalam percobaannya menggunakan tanaman *Hydrilla verticillata* di dalam gelas piala kemudian ditutup corong terbalik yang dihubungkan dengan tabung reaksi yang telah diisi penuh dengan air. Perangkat percobaan tersebut diletakkan di tempat yang terkena cahaya matahari. Setelah beberapa saat akan terbentuk gelembung udara ( $O_2$ ) yang keluar dari tanaman *Hydrilla verticillata*. Marilah kita mencoba melakukan eksperimen yang pernah dilakukan Ingenhousz berikut.



## Eksperimen 2

### Mengamati Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Kecepatan Fotosintesis

1. Coba siapkan beberapa alat dan bahan berikut.
  - a. tabung reaksi,
  - b. gelas piala,
  - c. corong kecil,
  - d. akuades,
  - e. larutan Na-Bikarbonat 0,5%, dan
  - f. tanaman *Hydrilla verticillata* (Hidrilla).
2. Buatlah medium berupa air dalam 2 buah gelas piala dan tambahkan beberapa tetes 0,5% Na-Bikarbonat.
3. Setelah itu potonglah cabang tanaman *Hydrilla verticillata* sepanjang 10 cm. Letakkan tanaman *Hydrilla verticillata* di bawah corong, pangkal tanaman menghadap ke arah pipa corong yang ditutup tabung reaksi yang telah diisi penuh dengan air.
4. Susunlah dua perangkat gelas piala, tabung reaksi, corong, dan tanaman hidrilla seperti gambar berikut.



5. Setelah tersusun, satu perangkat gelas piala diletakkan di dalam ruangan dengan intensitas cahaya rendah dan perangkat yang lain diletakkan di luar ruangan dengan intensitas cahaya tinggi.
6. Amati gelembung oksigen yang terjadi. Hitung banyaknya gelembung setiap 5 menit selama 15 menit.
7. Buat grafik hubungan antara intensitas cahaya dengan gelembung dan waktu.

### Pertanyaan:

1. Bagaimana perbedaan jumlah gelembung pada kedua perlakuan tersebut?
2. Apa yang menyebabkan terjadinya peristiwa tersebut (soal nomor 1)?
3. Apa fungsi  $\text{NaHCO}_3$  pada percobaan tersebut?
4. Gelembung yang terjadi menunjukkan apa?
5. Tuliskan persamaan reaksi yang terjadi pada peristiwa tersebut.
6. Apa kesimpulan dari kegiatan ini?

Buatlah laporan tertulis hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

Organella yang berperan dalam fotosintesis ialah kloroplas. Kloroplas mengandung pigmen klorofil dan menyebabkan warna hijau pada daun. Kloroplas mempunyai membran ganda (luar dan dalam) yang mengelilingi matriks fluida yang disebut **stroma**. Stroma mengandung enzim yang berperan untuk menangkap  $\text{CO}_2$  dan mereduksinya. Sistem membran di dalam stroma membentuk kantung-kantung datar yang disebut **tilakoid**. Pada beberapa tempat tilakoid bertumpuk membentuk grana.

Klorofil dan pigmen lainnya terdapat pada membran tilakoid. Pigmen yang terdapat pada kloroplas, yaitu klorofil *a* (berwarna hijau), klorofil *b* (berwarna hijau tua), dan karoten (berwarna kuning sampai jingga). Pigmen tersebut mengelompok dalam membran tilakoid membentuk perangkat pigmen yang penting dalam fotosintesis. Perhatikan gambar berikut.



## Tahukah Anda

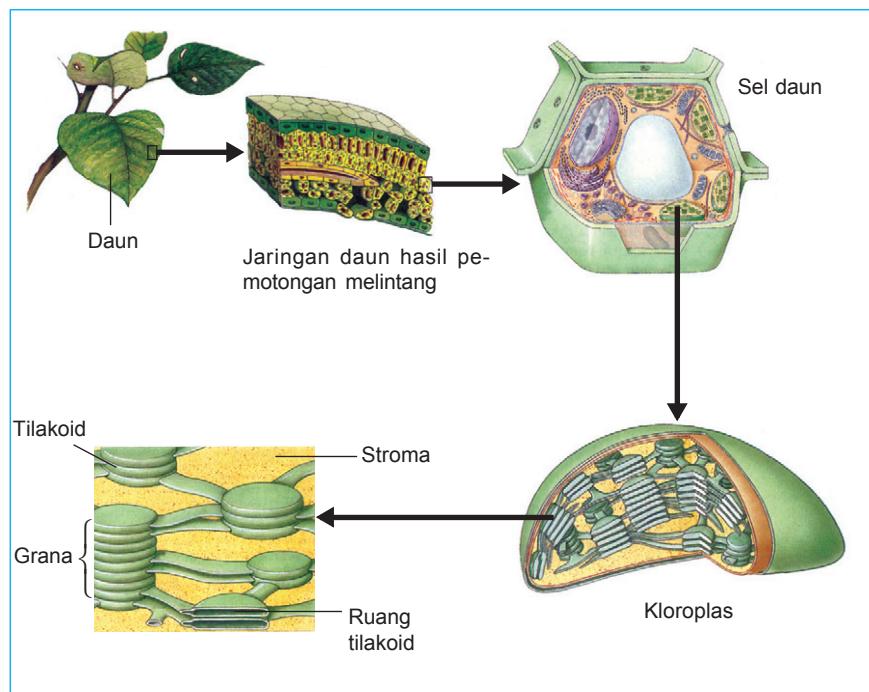
### Cahaya dan Karbon Dioksida



**Jan Ingenhousz (1730–1799)**

Seorang doktor Belanda, **Jan Ingenhousz (1730–1799)** berhasil menemukan peran karbon dioksida bagi proses fotosintesis tumbuhan. Berdasarkan hasil percobaannya, Ingenhousz mengetahui bahwa tumbuhan menyerap karbon dioksida jika ada cahaya. Temuan ini menunjukkan bahwa cahaya mempunyai peran kunci dalam fotosintesis. Apabila lingkungan tanpa cahaya, tumbuhan mengeluarkan karbon dioksida dan mengambil oksigen ketika bernapas untuk memperoleh energi.

Sumber: *Jendela Ilmu*



Sumber: *Biology, Raven and Johnson*

**Gambar 2.17**

Organela yang terlibat dalam fotosintesis

Fotosintesis berlangsung dalam 2 tahap reaksi, yaitu reaksi terang (*light-dependent reaction*) dan reaksi gelap (*light-independent reaction*). Reaksi terang berlangsung jika ada cahaya, sedangkan reaksi gelap berlangsung tanpa memerlukan cahaya. Bagaimana kedua reaksi ini berlangsung? Marilah kita ikuti uraian berikut.

#### a. Reaksi Terang (*Light-Dependent Reaction*)

Reaksi terang terjadi dalam membran tilakoid yang di dalamnya terdapat pigmen klorofil *a*, klorofil *b*, dan pigmen tambahan yaitu karoten. Pigmen-pigmen ini menyerap cahaya ungu, biru, dan merah lebih baik daripada warna cahaya lain.

Reaksi terang merupakan reaksi penangkapan energi cahaya. Energi cahaya yang diserap oleh membran tilakoid akan menaikkan elektron berenergi rendah yang berasal dari  $H_2O$ . Elektron-elektron bergerak dari klorofil *a* menuju sistem transpor elektron yang menghasilkan ATP (dari ADP + P). Elektron-elektron berenergi ini juga ditangkap oleh  $NADP^+$ . Setelah menerima elektron,  $NADP^+$  segera berubah menjadi NADPH. Molekul-molekul ini (ATP dan NADPH) menyimpan energi untuk sementara waktu dalam bentuk elektron berenergi yang akan digunakan untuk mereduksi  $CO_2$ .

Reaksi terang melibatkan dua jenis fotosistem, yaitu fotosistem I dan fotosistem II. Apakah sebenarnya fotosistem itu?

Telah dijelaskan di depan bahwa dalam tilakoid terdapat beberapa pigmen yang berfungsi menyerap energi cahaya. Pigmen-pigmen itu antara lain klorofil *a*, klorofil *b*, dan pigmen

tambahan karotenoid. Setiap jenis pigmen menyerap cahaya dengan panjang gelombang tertentu.

Molekul klorofil dan pigmen asesori (tambahan) membentuk satu kesatuan unit sistem yang dinamakan **fotosistem**. Setiap fotosistem menangkap cahaya dan memindahkan energi yang dihasilkan ke pusat reaksi, yaitu suatu kompleks klorofil dan protein-protein yang berperan langsung dalam fotosintesis.

Fotosistem I terdiri atas klorofil *a* dan pigmen tambahan yang menyerap kuat energi cahaya dengan panjang gelombang 700 nm sehingga sering disebut **P700**. Sementara itu, fotosistem II tersusun atas klorofil *a* yang menyerap kuat energi cahaya dengan panjang gelombang 680 nm sehingga sering disebut **P680**.

Ketika suatu molekul pigmen menyerap energi cahaya, energi itu dilewatkan dari suatu molekul pigmen ke molekul pigmen lainnya hingga mencapai pusat reaksi. Setelah energi sampai di P700 atau di P680 pada pusat reaksi, sebuah elektron kemudian dilepaskan menuju tingkat energi lebih tinggi. Elektron berenergi ini akan disumbangkan ke akseptor elektron.

Dalam reaksi terang, terdapat 2 jalur perjalanan elektron, yaitu jalur elektron siklik dan jalur elektron nonsiklik.

### 1) *Jalur elektron siklik*

Jalur elektron siklik dimulai setelah kompleks pigmen fotosistem I menyerap energi matahari. Pada jalur ini, elektron berenergi tinggi (*e*-) meninggalkan pusat reaksi fotosistem I, tetapi akhirnya elektron itu kembali lagi.

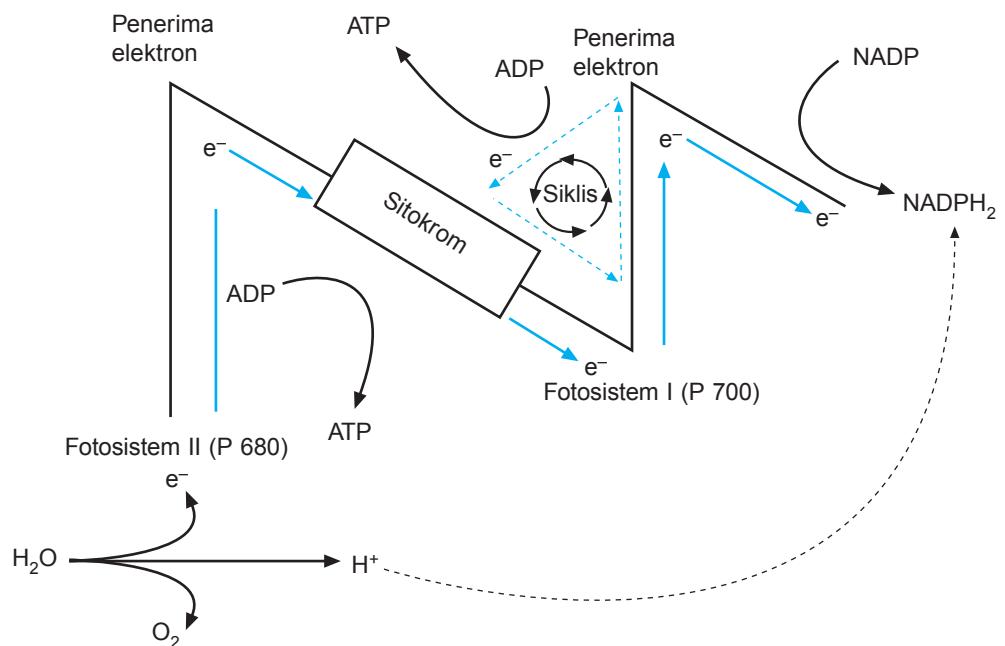
Elektron berenergi (*e*-) meninggalkan fotosistem I (pusat reaksi klorofil *a*) dan ditangkap oleh akseptor elektron kemudian melewatkannya dalam sistem transpor elektron sebelum kembali ke fotosistem I. Jalur elektron siklik hanya menghasilkan ATP.

Namun, sebelum kembali ke fotosistem I, elektron-elektron itu memasuki sistem transpor elektron, yaitu suatu rangkaian protein pembawa yang mengalirkan elektron dari satu protein pembawa ke protein pembawa berikutnya. Ketika elektron melalui protein pembawa ke protein pembawa berikutnya, energi yang akan digunakan untuk membentuk ATP dilepaskan dan disimpan dalam bentuk gradien hidrogen ( $H^+$ ). Saat ion hidrogen ini melalui gradien elektrokimia melalui kompleks ATP-sintase, terjadilah pembentukan ATP.

ATP terbentuk karena adanya penambahan gugus fosfat pada senyawa ADP yang diatur oleh energi cahaya sehingga prosesnya disebut **fotofosforilasi**. Pembentukan ATP terjadi melalui rute transpor elektron siklis maka disebut juga **fotofosforilasi siklis**. Coba amati Gambar 2.18 untuk mempermudah memahami jalur elektron ini.

Jalur elektron siklik terjadi dari fotosistem I kembali ke fotosistem I dan hanya menyebabkan terbentuknya ATP.





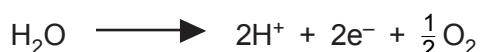
Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 2.18**

Jalur elektron siklis dan nonsiklis

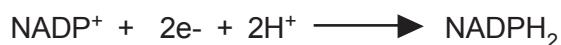
## 2) Jalur elektron nonsiklik

Reaksi ini dimulai ketika kompleks pigmen fotosistem II (P 680) menyerap energi cahaya dan elektron berenergi tinggi meninggalkan molekul pusat reaksi (klorofil a). Fotosistem II mengambil elektron dari hasil penguraian air (fotolisis) dan menghasilkan oksigen melalui reaksi berikut.



Oksigen dilepaskan oleh kloroplas sebagai gas oksigen. Sementara itu, ion hidrogen ( $H^+$ ) untuk sementara waktu tinggal di ruang tilakoid.

Elektron-elektron berenergi tinggi yang meninggalkan fotosistem II ditangkap oleh akseptor elektron dan mengirimnya ke sistem transpor elektron. Elektron-elektron ini melewati satu pembawa ke pembawa lainnya dan energi untuk pembentukan ATP dikeluarkan dan disimpan dalam bentuk gradien hidrogen ( $H^+$ ). Ketika ion-ion hidrogen melewati gradien elektrokimia serta kompleks sintase ATP, terbentuklah ATP secara kemiosmosis. Sementara itu, elektron-elektron berenergi rendah meninggalkan sistem transpor elektron menuju fotosistem I. Ketika fotosistem I menyerap energi cahaya, elektron-elektron berenergi tinggi meninggalkan pusat reaksi (klorofil a) dan ditangkap oleh akseptor elektron. Selanjutnya, sistem transpor elektron membawa elektron-elektron ini ke NADP<sup>+</sup>. Setelah itu, NADP<sup>+</sup> mengikat ion H<sup>+</sup> terjadilah NADPH<sub>2</sub>, seperti reaksi berikut.



Dengan demikian jalur elektron nonsiklis menghasilkan ATP dan  $\text{NADPH}_2$ .  $\text{NADPH}_2$  dan ATP yang dihasilkan dalam jalur elektron nonsiklik akan digunakan dalam reaksi tahap kedua (reaksi gelap) sintesis karbohidrat.

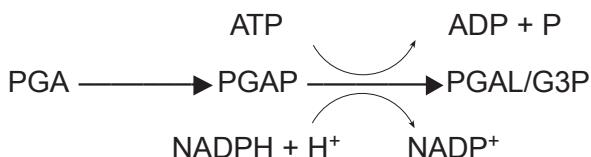
**b. Reaksi Gelap (*Light-Independent Reaction*)**

Reaksi gelap merupakan reaksi tahap kedua dari fotosintesis. Disebut reaksi gelap karena reaksi ini tidak memerlukan cahaya. Reaksi gelap terjadi di dalam stroma kloroplas.

Reaksi gelap pertama kali ditemukan oleh Malvin Calvin dan Andrew Benson. Oleh karena itu, reaksi gelap fotosintesis sering disebut **siklus Calvin-Benson** atau **siklus Calvin**. Siklus Calvin berlangsung dalam tiga tahap, yaitu fase fiksasi, fase reduksi, dan fase regenerasi. Pada fase fiksasi terjadi penambatan  $\text{CO}_2$  oleh ribulose bifosfat (*Ribulose biphosphat* = RuBP) menjadi 3-fosfoglisrat (3-*phosphoglycerate* = PGA). Reaksi ini dikatalisis oleh enzim ribulose bifosfat karboksilase (Rubisco).



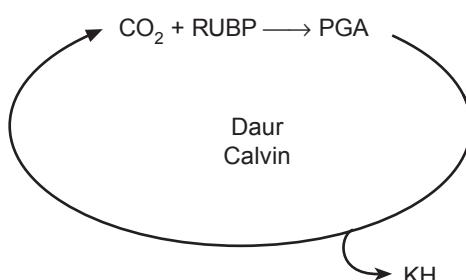
Pada fase reduksi diperlukan ATP dan ion H<sup>+</sup> dari NADPH<sub>2</sub> untuk mereduksi 3-fosfoglicerat (PGA) menjadi 1,3-bifosfoglicerat (PGAP) kemudian membentuk fosfogliseraldehid (*glyceraldehyde-3-phosphat* = PGAL atau G3P = glukosa 3-fosfat).



Pada fase regenerasi, terjadi pembentukan kembali RuBP dari PGAL atau G3P. Dengan terbentuknya RuBP, penambatan  $\text{CO}_2$  kembali berlangsung.



Secara ringkas reaksi gelap atau siklus Calvin dijelaskan dalam skema pada Gambar 2.19 berikut.



**Sumber:** Dokumentasi Penerbit

## Gambar 2.19 Siklus Calvin

Aliran elektron nonsiklik menguraikan air menjadi  $H^+$ ,  $e^-$ , dan  $O_2$ . Selain itu juga dihasilkan ATP dan mengubah NADP<sup>+</sup> menjadi NADPH<sub>2</sub>.



Sudah jelaskan Anda tentang siklus Calvin? Jika belum, coba diskusikan kembali materi di atas dengan kelompok Anda atau mintalah penjelasan kepada teman Anda yang sudah paham tentang materi tersebut.

Kapan glukosa terbentuk? Setiap 6 atom karbon yang memasuki siklus Calvin sebagai  $\text{CO}_2$ , 6 atom karbon meninggalkan siklus sebagai 2 molekul PGAL atau G3P, kemudian digunakan dalam sintesis glukosa atau karbohidrat lain (perhatikan kembali siklus Calvin di atas).

Reaksi endergonik antara 2 molekul G3P atau PGAL menghasilkan glukosa atau fruktosa. Pada beberapa tumbuhan, glukosa dan fruktosa bergabung membentuk sukrosa atau gula pada umumnya. Sukrosa dapat dipanen dari tanaman tebu atau bit. Selain itu, sel tumbuhan juga menggunakan glukosa untuk membentuk amilum atau selulosa.

Berdasarkan tipe pengikatan terhadap  $\text{CO}_2$  selama proses fotosintesis terdapat tiga jenis tumbuhan, yaitu tanaman  $\text{C}_3$ , tanaman  $\text{C}_4$ , dan tanaman CAM.

Jalur fiksasi  $\text{CO}_2$  yang telah kita pelajari di depan merupakan jalur fiksasi  $\text{CO}_2$  pada tanaman  $\text{C}_3$ , misalnya pada tanaman kedelai. Pada tanaman  $\text{C}_3$  siklus Calvin terjadi di sel-sel mesofil. Bagaimana dengan tanaman  $\text{C}_4$  dan CAM? Apakah siklus Calvin juga terjadi dalam sel-sel mesofil? Apa perbedaan ketiga jenis tanaman tersebut dalam fiksasi  $\text{CO}_2$ ?



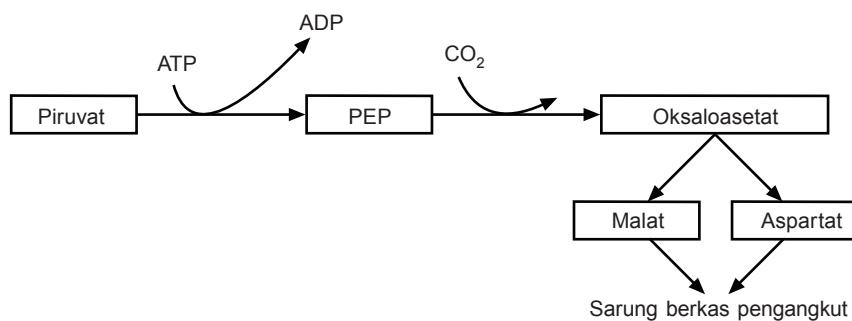
### Forum Diskusi

Diskusikan dengan teman sebangku Anda perbedaan antara  $\text{C}_3$ ,  $\text{C}_4$ , dan CAM dalam fiksasi  $\text{CO}_2$ .

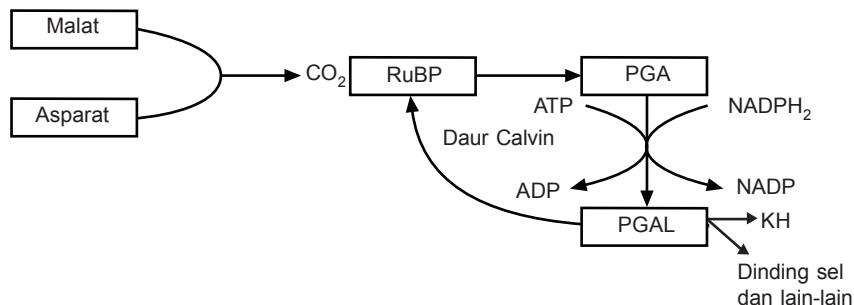
Pada tanaman  $\text{C}_4$ ,  $\text{CO}_2$  yang diikat sel-sel mesofil akan diubah terlebih dulu menjadi oksaloasetat (senyawa 4C), setelah bereaksi dengan PEP (fosfoenolpiruvat). Penggabungan ini dikatalisir oleh PEP karboksilase. Selanjutnya dengan bantuan  $\text{NADPH}_2$ , oksaloasetat diubah menjadi malat (senyawa 4C). Senyawa ini kemudian memasuki sarang berkas pembuluh. Malat, dalam sel-sel sarung berkas pembuluh, mengalami dekarboksilasi menjadi piruvat dan  $\text{CO}_2$ . Selanjutnya,  $\text{CO}_2$  memasuki jalur siklus Calvin.

Perhatikan skema reaksi penangkapan  $\text{CO}_2$  pada tanaman  $\text{C}_4$  berikut.

1) Di daerah mesofil:



2) Di sarung berkas pengangkut:



Jalur C<sub>4</sub> lebih efisien daripada tanaman C<sub>3</sub> dalam hal fiksasi CO<sub>2</sub>. Mengapa demikian? Sistem fiksasi CO<sub>2</sub> pada tanaman C<sub>4</sub> bekerja pada konsentrasi CO<sub>2</sub> jauh lebih rendah (sebesar 1–2 ppm) daripada pada sistem C<sub>3</sub> (> 50 ppm). Dengan demikian, pada hari yang amat panas, tanaman C<sub>4</sub> menutup stomatanya untuk mengurangi kehilangan air, tetapi tetap dapat memperoleh CO<sub>2</sub> untuk keperluan fotosintesinya. Alasan inilah yang menyebabkan tanaman C<sub>4</sub> mampu beradaptasi pada habitat dengan suhu tinggi, kelembapan rendah, dan sinar matahari terik pada siang hari.

Beberapa tanaman yang hidup di daerah kering dan panas, misalnya kaktus, lili, dan anggrek memiliki cara khusus dalam penambatan CO<sub>2</sub> untuk proses fotosintesis. Pada umumnya tanaman mengikat (memfiksasi) CO<sub>2</sub> pada siang hari, tetapi pada tanaman yang hidup di daerah kering pengikatan CO<sub>2</sub> terjadi pada malam hari sehingga tanaman-tanaman tersebut memiliki tipe khusus yang dinamakan *crassulacean acid metabolism (CAM)*. Crassulaceae merupakan suatu *familia* dalam taksonomi tubuh. Tanaman ini memiliki batang yang mengandung air atau sukulen.

Seperti halnya tanaman C<sub>4</sub>, tanaman yang termasuk dalam familia Crassulaceae menambat CO<sub>2</sub> dengan bantuan enzim PEP karboksilase dan mengubahnya menjadi oksaloasetat, tetapi dalam waktu berlainan. Pada tanaman familia Crassulaceae penambatan CO<sub>2</sub> terjadi pada malam hari ketika stomatanya membuka. Oksaloasetat yang diubah menjadi malat akan disimpan dalam vakuola. Ketika stomata menutup pada siang hari, malat mengalami reaksi dekarboksilasi dan menghasilkan piruvat dan CO<sub>2</sub>.



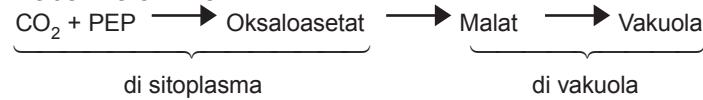
Sumber: Biology, Campbell

Gambar 2.20

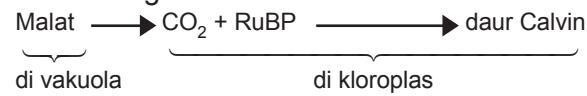
Nanas merupakan salah satu jenis tanaman C<sub>4</sub>

Selanjutnya,  $\text{CO}_2$  memasuki siklus Calvin untuk membentuk PGAL (G3P). Perhatikan skema fiksasi  $\text{CO}_2$  pada tanaman CAM berikut.

- 1) Pada malam hari:



- 2) Pada siang hari:



## 2. Fotorespirasi

Beberapa tanaman C<sub>3</sub>, misalnya kedelai dan kentang, tidak banyak menghasilkan karbohidrat melalui fotosintesis pada hari yang sangat panas. Mengapa? Pada hari yang sangat panas, tanaman C<sub>3</sub> menutup stomatanya untuk mengurangi penguapan. Selama stomata menutup, fotosintesis tetap berlangsung menggunakan sisa CO<sub>2</sub> dalam daun dan menghasilkan O<sub>2</sub> yang terakumulasi dalam kloroplas. Telah diketahui bahwa Rubisco sangat diperlukan dalam fiksasi CO<sub>2</sub> dalam siklus Calvin untuk menggabungkan CO<sub>2</sub> dengan RuBP. Sementara itu, O<sub>2</sub> hasil fotosintesis bersaing dengan CO<sub>2</sub> untuk memperebutkan sisi aktif Rubisco. Ketika kadar O<sub>2</sub> lebih tinggi dari kadar CO<sub>2</sub>, Rubisco cenderung mengkatalis reaksi O<sub>2</sub> dengan RuBP daripada dengan CO<sub>2</sub>. Ketika hal ini terjadi, senyawa antara dalam siklus Calvin banyak dipecah menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O daripada membentuk glukosa (karbohidrat). Proses inilah yang disebut **fotospirasi**.

Dinamakan fotorespirasi karena dalam peristiwa tersebut memerlukan cahaya, memerlukan oksigen seperti halnya respirasi aerob, serta menghasilkan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Perbedaannya dengan respirasi aerob, dalam fotorespirasi tidak dihasilkan ATP.

Fotorespirasi mengurangi efisiensi fotosintesis pada tanaman C<sub>3</sub> karena banyak menghilangkan senyawa antara (RuBP) yang dipakai dalam siklus Calvin. Sebaliknya, fotorespirasi tidak berpengaruh terhadap tanaman C<sub>4</sub>, karena konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam sel-sel sarung berkas pengangkut selalu tinggi.

### 3. Kemosintesis

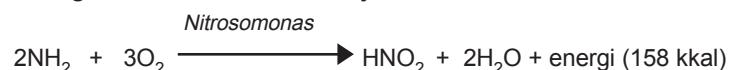
Telah diketahui bahwa tumbuhan hijau mampu mensintesis karbohidrat menggunakan energi cahaya melalui proses fotosintesis. Karbohidrat dapat dibentuk dari  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  menggunakan energi kimia yang dihasilkan selama oksidasi biologis terhadap substansi kimia tertentu. Bakteri yang tidak berklorofil juga dapat menghasilkan karbohidrat menggunakan energi kimia. Oleh karena itu, porsesi tersebut dinamakan **kemosintesis**. Dengan demikian, kemosintesis dapat diartikan sebagai salah

bentuk asimilasi karbon di mana reduksi  $\text{CO}_2$  berlangsung dalam gelap (tanpa cahaya), menggunakan energi murni hasil oksidasi. Salah satu hal penting dari kemosintesis yaitu energi hasil reaksi oksidasi digunakan oleh bakteri dalam fosforilasi dan selanjutnya mereduksi  $\text{CO}_2$  menjadi senyawa organik.

Kemosintesis terjadi pada bakteri nitrifikasi, bakteri belerang, bakteri besi, serta bakteri hidrogen dan bakteri metan.

#### a. Kemosintesis oleh Bakteri Nitrifikasi

Beberapa bakteri nitrifikasi antara lain: bakteri *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrobacter*, dan *Bactoderm*. *Nitrosococcus* dan *Nitrosomonas* (bakteri nitrat) mengoksidasi amonia menjadi nitrit.



*Bactoderm* dan *Nitrobacter* (bakteri nitrat) mengoksidasi nitrit menjadi nitrat dalam keadaan aerob.

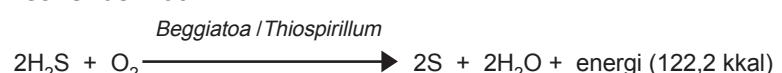


#### b. Kemosintesis oleh Bakteri Belerang

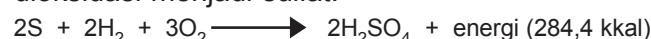
Berdasarkan aspek kemosintesis, bakteri belerang dikelompokkan menjadi tiga sebagai berikut.

Bakteri belerang ototrofik tanpa pigmen, contoh *Beggiatoa* dan *Thiospirillum*.

*Beggiatoa* dan *Thiospirillum* ditemukan pada sumber mata air panas yang mengandung hidrogen sulfida. Kelompok bakteri ini mengoksidasi logam sulfida menjadi sulfur menurut reaksi berikut.

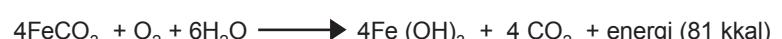
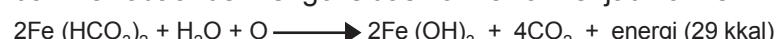


Ketika cadangan sulfida habis, endapan sulfur akan dioksidasi menjadi sulfat.



#### c. Kemosintesis oleh Bakteri Besi

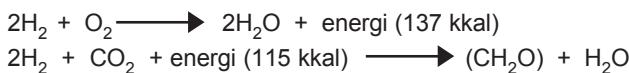
Beberapa bakteri besi pada umumnya, misalnya *Leptothrix*, *Crenothrix*, *Cladotrich*, *Galonella*, *Spiriphyllum*, dan *Ferrobacillus* mengoksidasi ion ferro menjadi ion ferri.



#### d. Kemosintesis oleh Bakteri Hidrogen dan Bakteri Metana

##### 1) Bakteri Hidrogen

Salah satu jenis bakteri hidrogen, yaitu *Bacillus panctotrophus* dapat tumbuh dalam medium anorganik yang mengandung hidrogen,  $\text{CO}_2$ , dan  $\text{O}_2$  serta dapat mengoksidasi hidrogen dengan membebaskan energi. Energi ini dapat digunakan dalam proses kemosintesis berikut.



## 2) Bakteri Metana

*Methanonas* merupakan salah satu contoh bakteri metana yang mampu mengoksidasi metana menjadi  $\text{CO}_2$ . Metana menyediakan karbon dan energi bagi bakteri aerob ini. Perhatikan reaksi berikut.



Energi yang diperoleh pada kemosintesis digunakan untuk proses fosforilasi dan reduksi  $\text{CO}_2$  menjadi karbohidrat.

Anda telah mempelajari fotosintesis dan kemosintesis. Dapatkah Anda membedakan kedua jenis anabolisme tersebut? Nah, cobalah Anda menemukan perbedaan itu melalui kegiatan diskusi berikut.



### Forum Diskusi

Diskusikan perbedaan antara kedua proses anabolisme tersebut. Mengenai sumber energi, organisme pelaku, bahan dasar, dan hasil. Tuliskan hasil diskusi Anda dalam tabel berikut.

Tabel perbandingan antara kemosintesis dengan fotosintesis.

	Fotosintesis	Kemosintesis
1. Sumber energi	...	...
2. Pelaku	...	...
3. Bahan dasar	...	...
4. Hasil	...	...



### Uji Kompetensi C

Jawablah soal-soal berikut.

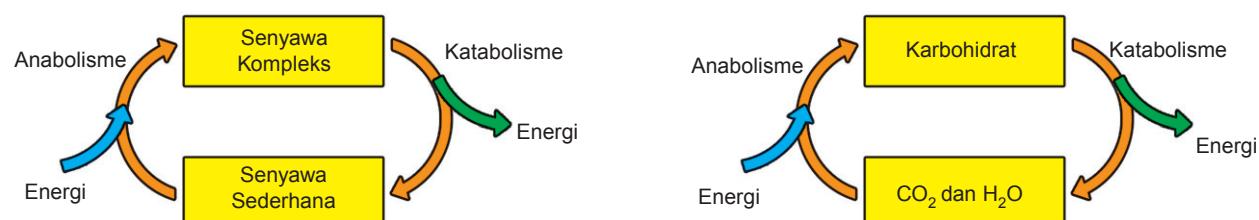
- Gambarkan struktur kloroplas dan lengkapi dengan keterangan gambar.
  - Tunjukkan tempat terjadinya reaksi terang.
  - Tunjukkan tempat terjadinya reaksi gelap.
- Jelaskan fungsi setiap molekul pigmen daun yang berperan dalam reaksi terang fotosintesis.
- Jelaskan secara ringkas tentang siklus elektron siklik dan siklus elektron nonsiklik.
- Siklus Calvin berlangsung dalam tiga tahapan. Sebutkan ketiga tahapan tersebut dan beri penjelasan tentang tiap-tiap tahapan.
- Apa perbedaan fotosintesis dengan kemosintesis ditinjau dari sumber energi dan hasil akhirnya?

## D. Keterkaitan Metabolisme

Seperti dijelaskan di depan, bahwa metabolisme meliputi anabolisme dan katabolisme. Anabolisme memerlukan energi (endergonik), sedangkan katabolisme menghasilkan energi (eksergonik). Bagaimanakah hubungan antara anabolisme dengan katabolisme? Marilah kita pelajari dalam bahasan berikut.

## 1. Keterkaitan Antara Anabolisme dengan Katabolisme Karbohidrat

Telah dipelajari di depan bahwa anabolisme merupakan proses pembentukan senyawa kompleks dari senyawa sederhana dengan memerlukan energi. Jadi, reaksi anabolisme bersifat endergonik. Sementara itu, katabolisme merupakan proses pemecahan atau penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan membebaskan energi. Jadi, reaksi katabolisme bersifat eksergonik. Perhatikan skema Gambar 2.21 berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 2.21

Hubungan katabolisme dan anabolisme karbohidrat

Salah satu proses anabolisme yaitu sintesis atau pembentukan karbohidrat melalui fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan-tumbuhan.  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ , dalam reaksi ini, dengan bantuan energi cahaya diubah menjadi karbohidrat yang di dalamnya mengandung energi dalam bentuk ikatan kimia.

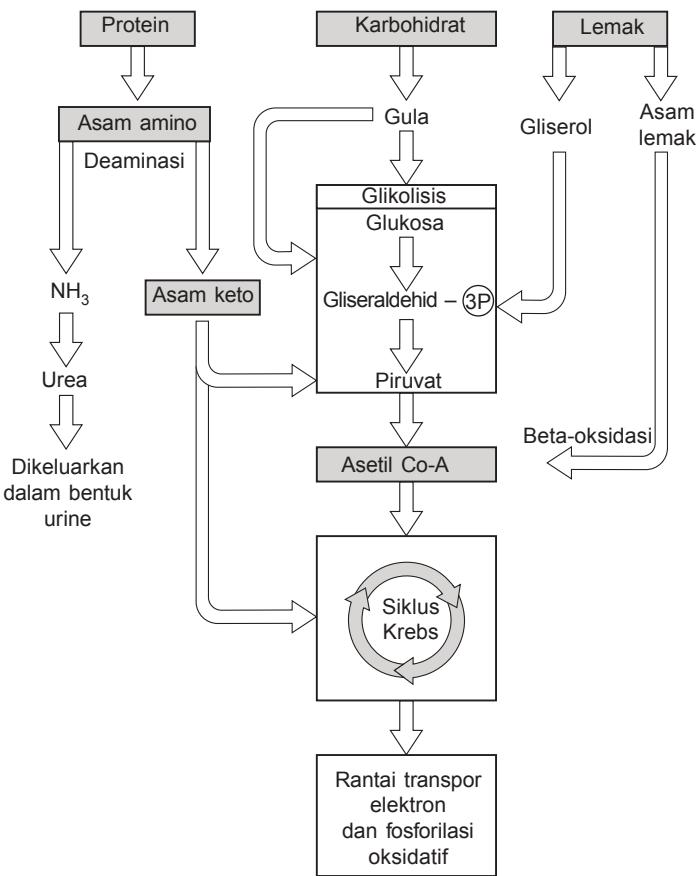
Sementara itu dalam sel-sel makhluk hidup, karbohidrat (dalam hal ini glukosa) akan mengalami serangkaian reaksi respirasi sehingga dihasilkan energi. Selain dibebaskan energi, reaksi pemecahan (katabolisme) glukosa ini juga menghasilkan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ , apabila digambarkan seperti Gambar 2.20 di atas.

## 2. Keterkaitan Metabolisme Karbohidrat, Lemak, dan Protein

Karbohidrat bukanlah satu-satunya zat makanan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Zat makanan lain, seperti lemak dan protein dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Tentu saja tahap-tahap reaksinya tidak sama dengan metabolisme karbohidrat.

Hidrolisis lemak menghasilkan asam lemak dan gliserol. Asam lemak akan mengalami beta-oksida menjadi asetil Co-A. Selanjutnya, asetil Co-A akan memasuki daur atau siklus Krebs. Sementara itu, gliserol akan diubah menjadi senyawa fosfogliseraldehid (G3P) agar dapat memasuki reaksi glikolisis.

Bagaimana jika protein digunakan sebagai sumber energi? Protein yang memiliki sistem pencernaan akan dipecah oleh enzim protease menjadi asam amino. Selanjutnya, asam amino mengalami reaksi deaminasi sehingga dihasilkan  $\text{NH}_3$  atau gugus amin dan asam keto. Pada mamalia dan beberapa hewan pada umumnya, gugus Amin atau  $\text{NH}_3$  diubah menjadi urea dan dikeluarkan sebagai urine. Sementara itu, asam keto dapat memasuki reaksi glikolisis atau daur Krebs. Pelajari bagan pada Gambar 2.22 berikut untuk lebih jelasnya.



Sumber: Biology, Solomon

**Gambar 2.22**

Metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein

Pada bagan tampak jelas adanya keterkaitan antara metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein. Hal lain yang dapat dijelaskan dari bagan tersebut yaitu bahwa lemak yang ada dalam tubuh kita tidak hanya berasal dari makanan yang mengandung lemak, tetapi dapat juga berasal dari karbohidrat dan protein.

Telah dijelaskan bahwa oksidasi karbohidrat, lemak, dan protein akan menghasilkan energi. Dari ketiga jenis zat makanan tersebut, manakah yang menghasilkan energi paling banyak?

Dibandingkan dengan karbohidrat dan protein, lemak lebih banyak menghasilkan energi ketika dioksidasi. Suatu contoh: satu molekul asam lemak dengan atom 6C (asam heksanoat) yang dioksidasi secara sempurna dapat menghasilkan 44 ATP. Sementara itu, glukosa yang juga mempunyai 6 atom C hanya menghasilkan 36 ATP. Mengapa demikian?

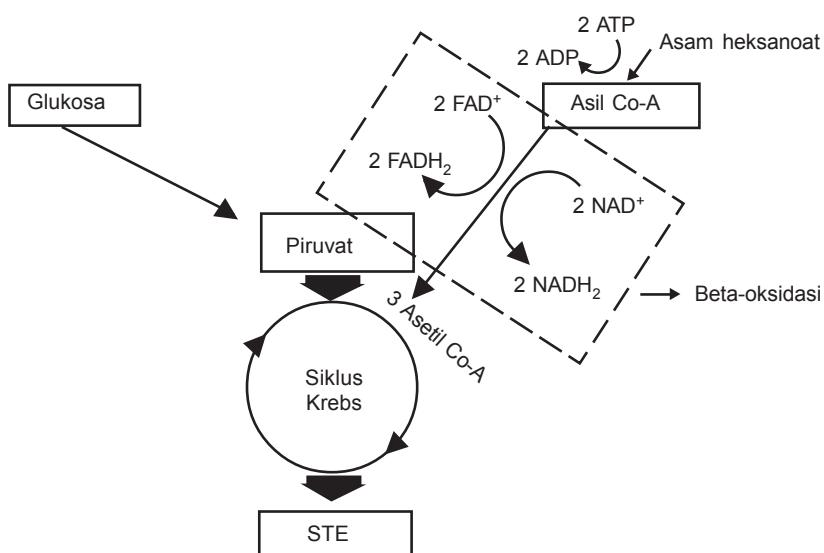
Asam lemak akan memasuki siklus Krebs setelah diubah menjadi asetil Co-A melalui reaksi beta-oksidasi. Asam lemak dengan jumlah atom C =  $2n$ , akan menghasilkan sejumlah  $n$  asetil Co-A. Dengan demikian, asam heksanoat (6C) menghasilkan 3 molekul asetil Co-A. Mula-mula, asam heksanoat yang telah teraktivasi (memerlukan 2 ATP) menjadi asil Co-A akan memasuki mitokondria. Asil Co-A dalam mitokondria

mengalami beta-oksidasi. Pada reaksi ini asil Co-A yang berasal dari asam heksanoat ( $C = 6$ ) mengalami dua kali siklus dan menghasilkan 3 asetil Co-A ( $C = 2$ ). Siklus pertama menghasilkan 1 molekul asetil Co-A, 1 FADH<sub>2</sub>, 1 NADH, dan butiril Co-A (4 atom C). Pada siklus 2 butiril Co-A dioksidasi menjadi 2 molekul asetil Co-A dengan menghasilkan 1 FADH<sub>2</sub> dan 1 NADH. Adapun jumlah ATP yang dihasilkan pada beta-oksidasi dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{array}{rcl} 2 \text{ FADH}_2 & \rightarrow & 2 \times 2 \text{ ATP} = 4 \text{ ATP} \\ 2 \text{ NADH} & \rightarrow & 2 \times 3 \text{ ATP} = 6 \text{ ATP} \\ \hline \text{Jumlah} & & = 10 \text{ ATP} \end{array}$$

Oleh karena aktivasi asam heksanoat menjadi heksanoil Co-A memerlukan 2 ATP, maka hasil bersih ATP =  $(10 - 2)$  ATP = 8 ATP. Selanjutnya, 3 molekul asetil Co-A akan memasuki daur Krebs dan mengalami oksidasi sempurna menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Pada oksidasi 3 molekul asetil Co-A ini dihasilkan  $3 \times 12$  ATP = 36 ATP. Jadi, oksidasi asam lemak menghasilkan 44 ATP.

Hal ini juga menunjukkan bahwa makin panjang rantai karbon yang menyusun asam lemak, energi yang dihasilkan makin besar. Misalnya pada asam palmitat yang mempunyai 15 atom C menghasilkan 129 ATP. Bukan hanya itu, senyawa lain hasil hidrolisis lemak yaitu gliserol dapat memasuki jalur glikolisis setelah diubah menjadi gliseraldehid 3-fosfat (PGAL). Selanjutnya, PGAL akan diubah menjadi PEP. PEP harus diubah menjadi asetil Co-A agar dapat memasuki daur Krebs. Dari reaksi oksidasi, gliserol juga dihasilkan cukup banyak energi yaitu sekitar (36 ATP). Perhatikan skema pada Gambar 2.23 berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 2.23**

Jalur beta-oksidasi asam lemak



## Tahukah Anda

### Macam-Macam *Diabetes Mellitus*

*Diabetes mellitus* diklasifikasikan dalam 4 kelompok berikut.

1. Diabetes Tipe I  
Penderita mengalami kerusakan pada sel b pankreasnya.
2. Diabetes Tipe II  
Kemampuan insulin penderita menurun dan terjadi disfungsi sel beta. Akibatnya, pankreas tidak mampu memproduksi insulin yang cukup.
3. *Diabetes Mellitus* dalam Kehamilan  
Terjadi peningkatan *insulin resistance* pada ibu hamil. Hal ini terjadi karena bayi mensekresi insulin lebih besar daripada ibu.
4. Diabetes Tipe Lain  
Penderita mengalami hiperglikemia akibat kelainan genetik fungsi sel beta, endokrinopati, penggunaan obat yang mengganggu fungsi sel beta, penggunaan obat yang mengganggu kerja insulin, dan sindroma genetik.

### 3. Teknologi yang Berkaitan dengan Metabolisme Makanan

Saat ini, teknologi di bidang pengolahan makanan telah berkembang pesat. Para produsen telah menemukan celah pasar yang luar biasa di bidang ini. Terbukti dengan beredarnya makanan-makanan substitusi dan suplemen bagi orang-orang yang mempunyai masalah dengan metabolisme.

#### a. Makanan Berkadar Gula Rendah

Telah dijelaskan di depan bahwa tujuan utama metabolisme dalam tubuh untuk memperoleh energi. Kita ambil contoh saat kita makan sepiring nasi. Nasi yang kita kunyah dalam mulut, segera mengalami pencernaan enzimatis oleh ptialin. Pada saat itu, nasi (karbohidrat) dipecah menjadi glukosa dan maltosa. Selanjutnya, maltosa mengalami pencernaan lanjutan dalam usus halus. Maltosa tersebut kemudian dipecah oleh enzim maltase sehingga menghasilkan 2 molekul glukosa. Glukosa yang dihasilkan terlarut dalam darah dan diangkut menuju sel-sel tubuh.

Pada tubuh kita terdapat hormon insulin yang bertugas mengendalikan kadar gula dalam darah. Pada orang dewasa normal, kadar gula dalam darah berkisar antara 110 mg/dL–200 mg/dL. Jika gula dalam darah kadarnya melebihi angka tersebut (misalnya  $> 300 \text{ mg/dL}$ ), aktivitas tubuh akan terganggu. Seseorang yang kadar gulanya melebihi normal dikatakan orang tersebut menderita *diabetes mellitus* (DM). Mengapa kadar gulanya dapat melebihi angka normal? Salah satu sebabnya kelenjar penghasil insulin tidak dapat bekerja dengan baik. Bagi penderita DM tidak dianjurkan mengonsumsi makanan yang mengandung banyak gula. Hal ini bertujuan agar kadar gulanya terkendali. Oleh karena itu diperlukan terapi makanan khusus untuk membantu penderita DM.

Lain halnya jika penderita DM mengonsumsi gula rendah kalori, misalnya dengan pemanis buatan (aspartam dan sorbitol), ia akan baik-baik saja. Mengapa demikian? Bahan pemanis buatan, seperti aspartam dan sorbitol tidak mengalami metabolisme dalam sel-sel tubuh sehingga tidak menambah kadar gula dalam darah. Meskipun demikian makanan maupun minuman yang diberi pemanis buatan tetap terasa manis. Bahkan pemanis buatan ini rasa manisnya 10 hingga ratusan kali lebih manis dibandingkan dengan gula tebu.

Lakukan kegiatan berikut agar Anda menjadi lebih paham tentang macam-macam pemanis buatan yang beredar di pasaran.



## Tugas Kelompok

Kumpulkan beberapa kemasan produk makanan dan minuman yang menjanjikan adanya rendah kalori. Amati bahan pemanis yang tercantum dalam label pada kemasannya. Catatlah nama produk, jenis produk, dan pemanis yang digunakan. Selanjutnya, masukkan data yang diperoleh dalam tabel berikut.

No.	Nama Produk	Jenis	Pemanis	Keterangan
1.				
2.				
3.				
4.				
dst.				

Lakukan analisis pada setiap jenis produk yang berhasil diidentifikasi mengenai keamanan produk tersebut bagi kesehatan sehubungan dengan jenis bahan pemanis yang digunakan dan dosis yang tercantum. Carilah data pendukung (batas aman penggunaan bahan pemanis dan efek bagi kesehatan) dari majalah sains, buku pelajaran, atau *internet*. Presentasikan hasil laporan Anda di kelas pada pertemuan berikutnya.

### b. Teknologi Pengawetan Makanan

Pada awalnya manusia kebingungan mencari cara menyimpan makanan. Hal ini karena beberapa jenis makanan akan menjadi busuk atau rusak jika lama tidak dimanfaatkan. Akhirnya ditemukanlah beberapa cara mengawetkan makanan, misalnya dengan pemanasan (*pasteurisasi* dan *sterilisasi*), penambahan bahan kimia, pendinginan, dan dengan pengolahan tertentu.

Pengawetan dengan pemanasan, seperti pasteurisasi dan sterilisasi, terbukti efektif membunuh berbagai bakteri pembusuk. Bahkan beberapa jenis racun yang terkandung dalam makanan dapat dihilangkan dengan pemanasan. Akan tetapi, akibat pemanasan itu zat gizi dalam makanan menjadi rusak, misalnya vitamin dan protein.

Selain pemanasan, pembekuan juga banyak dipakai dalam mengawetkan makanan. Perhatikan Gambar 2.24. Pembekuan merupakan cara pengawetan yang paling baik. Namun demikian, sayuran dan buah-buahan akan kehilangan 6% vitamin C selama penyimpanan dalam lemari es. Bukan hanya vitamin saja, kandungan protein dalam daging juga akan menyusut selama penyimpanan beku ini.

Selain cara-cara tersebut di depan terdapat cara lain untuk mengawetkan bahan makanan, yaitu fermentasi. Apakah dengan cara fermentasi suatu bahan makanan juga akan mengalami susut gizi selama pengolahan?



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 2.24

Pengawetan makanan dengan pendinginan

Tentu Anda mengenal makanan hasil fermentasi pada Gambar 2.25 berikut. Tempe, yoghurt, dan asinan merupakan makanan hasil fermentasi.



**Gambar 2.25**

Dari berbagai penelitian menunjukkan bahwa makanan dan minuman hasil fermentasi nilai gizinya lebih tinggi daripada bahan mentahnya. Selain itu, juga memiliki sifat sebagai antibiotika. Kita ambil contoh makanan dan minuman yang difermentasi menggunakan jasa bakteri laktat. Aktivitas bakteri asam laktat selama fermentasi mengakibatkan pH bahan makanan di bawah 5. Bakteri fekal (bakteri *Coli* dalam usus) dalam kondisi ini tidak dapat hidup sehingga makanan menjadi awet (tidak cepat rusak atau membusuk). Selain itu, bakteri tersebut juga menghasilkan metabolit yang berupa antibiotik, yaitu laktobasilin dan senyawa NI (*Not yet Idential* atau belum diketahui). Senyawa ini dipercaya dapat mencegah timbulnya kanker.

### c. Teknologi Substitusi Energi (Makanan Suplemen)

Pada keadaan tertentu, misalnya sedang sakit, manusia membutuhkan makanan yang siap diserap tanpa melalui proses pencernaan. Kondisi ini tentu saja tidak berlaku bagi orang sehat. Sebagai contoh, seorang pasien di rumah sakit di mana kondisi kesehatannya tidak memungkinkan untuk mengunyah makanan, ia sangat perlu mendapatkan masukan zat-zat makanan untuk menjaga kondisi tubuhnya. Pasien itu biasanya diberi cairan infus (Gambar 2.26). Dengan memasukkan infus ke tubuh pasien kebutuhan zat makanannya akan terpenuhi, terutama glukosa sebagai sumber energi dan ion-ion dalam bentuk garam mineral, seperti  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ , dan laktat.

Apa sajakah sebenarnya yang terdapat dalam sebotol infus itu? Anda dapat mengetahui dari beberapa contoh infus dalam tabel berikut.



**Sumber:** Dokumentasi Penerbit

## Gambar 2.26 Cairan infus

**Tabel 2.1 Komposisi Zat dalam Cairan Infus**

Produk	Glukosa (g/L)	Komposisi dalam Satuan mEq/L					Kalori Kkal/L	Osmolaritas (mOsm/L)
		Na	K	Ca	Cl	Laktat		
WIDA D10™ (Glukosa 10%)	100	-	-	-	-	-	400	555
WIDA D5™ (Glukosa 5%)	55	-	-	-	-	-	200	277
WIDA D5 -NS™ (Glukosa 5% dan Natrium Klorida 0,9%)	55	154	-	-	154	-	200	585
WIDA NS™ (Natrium Klorida 0,9%)	-	154	-	-	154	-	-	308
WIDA RS™ (Ringer's Solution)	-	147,1	4	4,5	155,6	-	-	311
WIDA RD™ (5% Dextrose in Ringer's Solution)	55	147,5	4	4,5	155,6	-	200	588

Dengan melihat contoh di atas tampak bahwa pemberian infus sangat membantu pasien dalam memperoleh energi, khususnya cairan infus yang mengandung glukosa. Cairan infus diberikan sesuai petunjuk dokter atau dalam pengawasan dokter karena setiap pasien memerlukan jenis infus yang berbeda. Hal ini tergantung pada kondisi pasien dan penyakit yang dideritanya.



## Wawasan Kewirausahaan

### Membuat Yoghurt

Cairkan susu bubuk atau susu skim sesuai anjuran pada kemasan dalam panci *stainless steel*. Panaskan dengan api sedang hingga 50°–60°C selama 1–2 menit, sampai susu beruap tetapi jangan sampai mendidih. Bila ingin yoghurt dengan tekstur lebih padat, maka pada saat pemanasan volume susu disisakan hingga  $\frac{3}{4}$ -nya atau dapat melarutkan susu 3–4% lebih banyak dari anjuran pada kemasan. Aduk dengan sendok kayu. Setelah itu, angkat dan tutup rapat, tunggu hingga suam-suam kuku (30°–45°C). Campurkan bibit yoghurt yang mengandung bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*, kira-kira 1 sendok teh untuk setiap 500 ml susu. Aduk hingga rata.

Tuang susu ke dalam gelas-gelas plastik, tutup dengan plastik lengket atau lembaran plastik yang diberi karet. Diamkan sekitar 8 jam pada suhu kamar, kemudian simpan dalam lemari es sampai dikonsumsi.

#### Catatan:

- Bibit yoghurt dapat dibeli di laboratorium mikrobiologi dan sebaiknya disimpan dalam lemari es.
- Pada saat merebus sampai mencampur bibit yoghurt pada susu, sebaiknya jangan berbicara atau tertawa agar bakteri mulut tidak mencemari susu dan fermentasi tidak gagal. Cara untuk memastikan fermentasi yoghurt tidak gagal, yaitu setelah disimpan 4–5 jam susu telah membentuk gumpalan-gumpalan dan aromanya masam.



## Uji Kompetensi D

Jawablah soal-soal berikut.

1. Jelaskan hubungan fotosintesis (anabolisme) dengan respirasi (katabolisme) dalam tumbuhan.
2. Selain karbohidrat, senyawa organik apa saja yang dapat dipakai sebagai sumber energi dalam respirasi? Beri penjelasan secara singkat.

3. Jelaskan keterkaitan antara anabolisme dengan katabolisme karbohidrat.
4. Di antara senyawa organik karbohidrat, lemak, dan protein, manakah yang menghasilkan energi paling besar saat terjadi oksidasi biologi? Jelaskan alasannya.
5. Sebutkan berbagai macam teknologi yang berkaitan dengan metabolisme makanan.



## Rangkuman

1. Enzim adalah senyawa protein sederhana maupun kompleks yang bertindak sebagai katalisator spesifik.
2. Enzim bekerja secara spesifik, hanya bekerja pada substrat tertentu. Menurut cara kerjanya, enzim dapat dikelompokkan berdasarkan teori *Lock and Key Theory* serta *Induced Fit Theory*.
3. Enzim dapat mengalami gangguan atau hambatan yang disebut inhibitor.
4. Terdapat tiga jenis inhibitor yaitu inhibitor reversible, inhibitor tak reversible dan inhibitor umpan balik.
5. Pada metabolisme terdapat dua reaksi yaitu katabolisme dan anabolisme.
6. Katabolisme merupakan reaksi pemecahan molekul kompleks seperti karbohidrat, protein dan lemak menjadi molekul yang lebih sederhana dan menghasilkan sejumlah energi.
7. Katabolisme terjadi dengan oksigen maupun tanpa oksigen.

8. Terdapat dua macam katabolisme yaitu respirasi dan fermentasi.
9. Respirasi menggunakan oksigen disebut respirasi aerob dan respirasi tanpa adanya oksigen dikenal dengan respirasi anaerob (hanya dilakukan oleh mikroorganisme).
10. Pada respirasi aerob energi yang dihasilkan sebesar 36 ATP pada organisme eukariotik dan 38 ATP pada organisme prokariotik. Sementara itu fermentasi menghasilkan energi sebanyak 20 ATP.
11. Anabolisme adalah peristiwa penyusunan zat dari senyawa sederhana menjadi senyawa yang lebih kompleks dan memerlukan sejumlah energi.
12. Fotosintesis berlangsung menggunakan energi dari cahaya matahari yang dikonversi menjadi energi kimia yang terikat dalam molekul karbohidrat.



## Tugas Proyek

### Produk-Produk untuk Mengatasi Gangguan Metabolisme

Dewasa ini, banyak produk makanan suplemen untuk mengatasi gangguan metabolisme. Beberapa produk di antaranya untuk mengatasi kegemukan (obesitas), penyakit diabetes (gula), dan penambah stamina. Bentuk produk pun bermacam-

macam, ada yang berbentuk tablet, kapsul, serbuk, dan cairan. Agar produknya laris di pasaran, para produsen memanfaatkan segala media untuk promosi, baik media cetak maupun elektronik. Walhasil, produk-produk itu laris manis bak menjual kacang goreng. Benarkah produk-produk itu bermanfaat bagi konsumen?

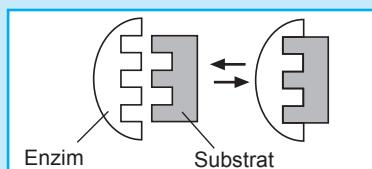
- A. Tujuan**  
Mengetahui sejauh mana manfaat produk makanan suplemen melalui kajian pustaka.
- B. Alat dan Bahan**
1. artikel dari berbagai sumber (majalah, koran, atau internet)
  2. buku referensi yang mendukung
  3. buku kliping
- C. Cara kerja**
1. Membuat makalah
    - a. Kumpulkan beberapa artikel dengan tema yang sama, misalnya tentang makanan suplemen untuk mengatasi kegemukan.
    - b. Carilah literatur yang mendukung untuk membahas permasalahan yang akan dibahas.
    - c. Buatlah tulisan atau makalah dengan bahasa Anda sendiri. Gunakan literatur secukupnya untuk mempertajam ulasan Anda.
  2. Membuat kliping
    - a. Guntinglah beberapa artikel tentang cara mengatasi permasalahan gangguan metabolisme. Ingat: jangan lupa mencatat sumber artikel tersebut.
    - b. Siapkan buku kliping. Tempelkan potongan artikel dan tuliskan sumber artikel di bawahnya (nama sumber/nomor/tanggal penerbitan).
    - c. Berilah ulasan singkat pada setiap artikel. Gunakan literatur secukupnya dalam memberi ulasan.
- D. Pelaporan**
1. Bentuk laporan berupa makalah atau kliping, tergantung bentuk tugas yang diambil.
  2. Jika bentuk laporan berupa makalah, sistematikanya sebagai berikut.
    - Bab I Pendahuluan
    - Bab II Isi
    - Bab III Kesimpulan dan Saran



## Evaluasi

A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.

1. Enzim dalam jumlah sedikit saja dapat mempercepat reaksi beribu-ribu kali lipat, tetapi ia sendiri tidak ikut bereaksi. Oleh karenanya, enzim disebut juga sebagai ....
  - a. biokatalisator
  - b. koloid
  - c. protein
  - d. alosterik
  - e. termolabil
2. Perhatikan gambar di bawah ini.



Pernyataan yang benar mengenai sifat enzim berdasarkan gambar yaitu ....

- a. terdiri atas protein
- b. menghambat reaksi kimia
- c. bekerja satu arah
- d. mempercepat reaksi kimia
- e. kerja enzim spesifik

3. Inhibitor kompetitif dari suatu senyawa fermentasi memiliki ....
  - a. struktur yang sama dengan molekul senyawa produk fermentasi
  - b. struktur yang sama dengan molekul senyawa substratnya
  - c. struktur yang sama dengan gen yang mengkode senyawa fermentasi
  - d. kemampuan untuk berhubungan dengan molekul senyawa fermentasi dan substratnya
  - e. kemampuan menghambat enzim
4. Enzim dan hasil kerjanya yang berperan dalam metabolisme sel yaitu ....
  - a. maltase, pembentukan glukosa
  - b. katalase, menguraikan peroksida air
  - c. protease, pembentukan protein
  - d. lipase, sintesis lemak
  - e. glukase, pembentukan glukosa

5. Berikut ini pernyataan pengaruh suhu terhadap enzim.
- Enzim menjadi nonaktif pada  $0^{\circ}\text{C}$ .
  - Enzim rusak pada suhu  $> 50^{\circ}\text{C}$ .
  - Berapa pun suhunya enzim tetap aktif.
  - Enzim hewan berdarah dingin bekerja optimum pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$ .
  - Semua enzim mempunyai suhu optimum yang sama.

Pernyataan-pernyataan yang benar terdapat pada nomor . . . .

- 1), 2), dan 4)
- 1), 2), dan 3)
- 3), 4), dan 5)
- 2), 3), dan 4)
- 2), 3), dan 5)

6. Peranan enzim katalase sebagai biokatalisator yang mengubah . . . .

- $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$  menjadi  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  dan  $\text{CO}_2$
- $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  dan  $\text{O}_2$  menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$
- $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  menjadi  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  dan  $\text{CO}_2$
- $\text{O}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  menjadi  $\text{H}_2\text{O}_2$
- $\text{H}_2\text{O}_2$  menjadi  $\text{O}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$

7. Pernyataan yang benar tentang pengaruh pH terhadap aktivitas enzim pepsin adalah . . .

- Pepsin hanya dapat bekerja pada pH asam saja.
- Pepsin hanya dapat bekerja pada pH biasa.
- Pepsin tidak terpengaruh oleh pH lingkungan.
- Pepsin aktif pada pH netral = 7.
- Pada pH 4 pepsin tidak aktif.

8. Perhatikan tabel berikut.

Substrat	Enzim	Bentuk yang Dihasilkan
maltosa	maltase	glukosa
amilum	amilase	maltosa
protein	protease	asam amino
lemak	lipase	asam lemak + glicerol

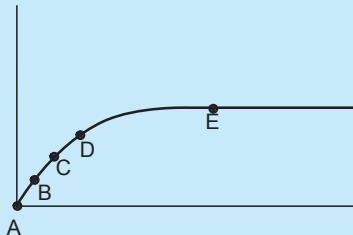
Berdasarkan tabel di atas, kesimpulan yang tepat tentang sifat enzim yaitu . . . .

- bekerja spesifik/khas
- sejenis dengan protein
- bekerja bolak-balik
- bekerja pada suhu optimum
- berfungsi sebagai katalisator

9. Penambahan garam alkali sebanyak 2–5% dalam suatu reaksi yang melibatkan enzim akan mengakibatkan . . . .

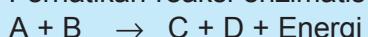
- enzim mengalami fase istirahat
- aktivitas enzim meningkat
- aktivitas enzim menurun
- tidak mempengaruhi kerja enzim
- molekul produk bertambah dua kali lipat

10. Kondisi yang menunjukkan bahwa semua substrat sudah terikat enzim terdapat pada posisi . . . .



- A
- B
- C
- D
- E

11. Perhatikan reaksi enzimatis berikut.



Berdasarkan reaksi di atas, maka . . . .

- reaksi ini bersifat eksertonik
- enzim tidak dapat mempercepat reaksi
- ATP tidak diperlukan di dalam reaksi ini
- A dan B adalah reaktan, C dan D adalah produk
- A dan B membutuhkan energi untuk menghasilkan C dan D

12. Jika kita ingin menambah jumlah produk per unit waktu pada reaksi enzimatiks, jangan menambah . . . .

- Jumlah substrat
- Jumlah enzim
- Suhu
- pH
- semua jawaban benar

13. Pernyataan-pernyataan mengenai respirasi berikut ini yang benar yaitu . . . .

- Oksigen berperan sebagai penerima elektron terakhir.
- Peran oksigen tidak dapat digantikan oleh zat lain.
- Dapat dilakukan oleh organisme tingkat tinggi.
- Menghasilkan asam laktat.
- Sebagian besar terjadi di dalam mitokondria.

14. Pembebasan air pada glikolisis berasal dari . . . .
- glukosa
  - piruvat
  - 2 fosfoglicerat
  - sitrat
  - oksaloasetat
15. Sebelum siklus asam sitrat, asam piruvat yang diproduksi pada glikolisis pertama kali dikonversi menjadi . . . .
- koenzim A
  - asam sitrat
  - etanol
  - asetil koenzim A
  - asam oksalat
16. Respirasi sel berlangsung melalui glikolisis. Glikolisis adalah . . . .
- fermentasi asam piruvat menjadi etanol dan  $\text{CO}_2$
  - oksidasi asam piruvat menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$
  - produksi asam piruvat dari glukosa
  - pengubahan glikolisis menjadi glukosa
  - perombakan asam amino menjadi asam laktat
17. Tiga hasil terpenting dari peristiwa glikolisis pada proses respirasi yaitu . . . .
- asam laktat, asam amino, dan ATP
  - asam laktat, asam piruvat, dan ATP
  - asam laktat, NADH, dan glukosa
  - asam piruvat, glukosa, dan ATP
  - asam piruvat, NADH, dan ATP
18. Tahap respirasi yang paling banyak menghasilkan ATP yaitu . . . .
- glikolisis
  - siklus Krebs
  - dekarboksilasi oksidatif
  - fosforilasi oksidatif
  - transpor elektron
19. Pernyataan yang paling tepat tentang proses yang terjadi pada respirasi aerob yaitu . . . .
20. Prekursor dari siklus Krebs yang berasal dari asam piruvat yaitu . . . .
- oksaloasetat
  - asam- $\alpha$ -ketoglutarat
  - asetil Co-A
  - suksinil Co-A
  - asam suksinat
21. Produk samping respirasi pada tumbuhan dibuang keluar melalui . . . .
- kutikula
  - epidermis
  - endodermis
  - parenkim
  - stomata
22. Pada proses respirasi aerob, sebagai akseptor terakhir  $\text{H}_2$  yaitu . . . .
- $\text{CO}_2$
  - $\text{H}_2\text{O}$
  - $\text{H}_2\text{O}_2$
  - $\text{O}_2$
  - $\text{CH}_2$
23. Tempat terjadinya dan jumlah ATP yang dihasilkan dari sistem transpor elektron berikut ini yang benar yaitu . . . .
- mitokondria dengan 24 ATP
  - mitokondria dengan 4 ATP
  - mitokondria dengan 34 ATP
  - sitoplasma dengan 30 ATP
  - nukleus dengan 34 ATP
24. Asam piruvat untuk memasuki siklus Krebs dari proses glikolisis terlebih dahulu membentuk . . . .
- asetil Co-A
  - suksinil Co-A
  - asam- $\alpha$ -ketoglutarat
  - asam oksaloasetat
  - asam suksinat
25. Setelah berolahraga tubuh terasa pegal-pegal. Hal ini terjadi akibat . . . .
- fermentasi asam piruvat menjadi alkohol
  - berkurangnya persediaan glukosa dalam darah
  - fermentasi asam piruvat menjadi asam laktat
  - terurainya asam laktat menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$
  - melemahnya oksidasi dalam sel otot

	Tahap	Tempat	Hasil
a.	Glikolisis	sitosol	2 ATP
	Siklus Krebs	mitokondria	4 ATP
b.	Glikolisis	mitokondria	4 ATP
	Siklus Krebs	mitokondria	2 ATP
c.	Glikolisis	sitosol	2 ATP
	Siklus Krebs	mitokondria	2 ATP
d.	Siklus Krebs	mitokondria	4 ATP
	Transpor elektron	mitokondria	34 ATP
e.	Siklus Krebs	sitosol	2 ATP
	Transpor elektron	mitokondria	34 ATP

26. Perbedaan fermentasi asam laktat dan fermentasi alkohol berdasarkan ....
- jenis organisme
  - energi yang dihasilkan
  - jumlah ATP yang terbentuk
  - ketersediaan  $O_2$
  - hasil akhir
27. Di antara peristiwa berikut yang benar mengenai reaksi transisi ....
- menghubungkan glikolisis menuju siklus Krebs
  - menghasilkan  $CO_2$
  - menggunakan  $NAD^+$
  - menghasilkan gugus asetil
  - semua jawaban benar
28. Kontribusi elektron terbesar dalam sistem transpor elektron berasal dari ....
- oksigen
  - glikolisis
  - siklus Krebs
  - reaksi transisi
  - fermentasi
29. Di antara hal-hal berikut yang benar mengenai fermentasi yaitu ....
- hasil akhir hanya 4 ATP
  - terjadi di mitokondria
  - NADH membentuk senyawa 6C
  - dimulai dengan glukosa
  - dilakukan oleh organisme tingkat tinggi
30. Asam lemak dipecah menjadi ....
- molekul piruvat yang memberikan elektron menuju sistem transpor elektron
  - gugus asetil yang masuk ke siklus Krebs
  - asam amino yang menghasilkan amonia
  - gliserol yang ditemukan di dalam lemak
  - semua jawaban benar
31. Hasil dari reaksi terang yang digunakan dalam reaksi pembentukan glukosa pada proses fotosintesis yaitu ....
- ATP dan  $NADPH_2$
  - ATP dan RuBP
  - RuBP dan APG
  - APG dan  $NADH_2$
  - RuBP dan  $NADPH_2$
32. Fotosintesis diawali dengan terjadinya ....
- terurainya klorofil
  - fiksasi  $O_2$
  - teraktivasinya klorofil
  - penguraian air
  - pembentukan ALPG
33. Tahapan-tahapan reaksi kimia pada fotosintesis yaitu ....
- fotolisis-fiksasi  $CO_2$ -PGA-glukosa-PGAL
  - fotolisis-fiksasi  $CO_2$ -PGAL-PGA-glukosa
  - fotolisis-fiksasi  $CO_2$ -PGA-PGAL-glukosa
  - PGA-PGAL-fotolisis-fiksasi  $CO_2$ -glukosa
  - PGA-PGAL-fiksasi  $CO_2$ -fotolisis-glukosa
34. Pembentukan  $O_2$  pada proses fotosintesis terjadi pada tahapan ....
- reaksi terang
  - reaksi gelap
  - siklus Calvin
  - fotosistem I
  - fotosistem II
35. Perhatikan reaksi proses kemosintesis berikut ini.
- $$2S + 3O_2 + 2H_2O \rightarrow 2H_2SO_4 + \text{energi}$$
- Reaksi ini berlangsung karena kemampuan bakteri mengadakan kemosintesis. Bakteri tersebut dinamakan ....
- Nitrobacter*
  - Nitrococcus*
  - Lactobacillus*
  - Thiobacillus*
  - Acetobacter*
36. Perbedaan antara fotosintesis dan kemosintesis terletak pada ....
- sumber energi dan zat yang dihasilkan
  - sumber energi dan sumber karbon
  - waktu berlangsung dan penggunaan cahaya
  - sumber energi dan organisme yang melakukannya
  - organisme dan bahan yang diperlukan
37. Akseptor elektron terakhir selama jalur elektron nonsiklik pada reaksi terang yaitu ....
- PS I
  - PS II
  - ATP
  - $NADP^+$
  - air

38. Sebuah fotosistem mengandung ....
- pigmen-pigmen pusat reaksi dan akseptor elektron
  - ADP, P, dan ion hidrogen ( $H^+$ )
  - proton, foton, dan pigmen
  - hanya sitokrom
  - jawaban b dan c benar
39. Faktor-faktor di bawah ini yang tidak berhubungan dengan sistem transpor elektron yaitu ....
- kloroplas
  - sitokrom
  - perpindahan  $H^+$  ke dalam ruang tilakoid
  - pembentukan ATP
  - penyerapan energi cahaya
40. NADPH dan ATP dari reaksi terang digunakan untuk ....
- menguraikan air
  - menyebabkan RuBP menangkap  $CO_2$
  - membentuk fotosistem kembali
  - menyebabkan elektron berpindah sesuai jalurnya
  - konversi PGA menjadi PGAL
- B. *Jawablah soal-soal berikut.*
- Jelaskan perbedaan anabolisme dengan katabolisme.
  - Bagaimana suhu dapat mempengaruhi aktivitas enzim?
  - Bagaimana asam piruvat dapat masuk siklus Krebs?
  - Berapa jumlah energi yang dihasilkan dari oksidasi  $NADH_2$  dan  $FADH_2$  dalam sistem transpor elektron?
  - Jelaskan mengenai fotosistem.
  - Jelaskan perbedaan kemosintesis dengan fotosintesis.
  - Jelaskan proses fosforilasi siklik dan nonsiklik pada reaksi terang.
  - a. Apakah fotorespirasi itu?  
b. Mengapa fotorespirasi menurunkan efisiensi fotosintesis pada tanaman  $C_3$ ?
  - Bagaimana proses fermentasi terjadi di dalam sel otot? Jelaskan.
  - Jelaskan hubungan antara fotosintesis dan respirasi yang terjadi pada tumbuhan.
- C. *Berpikir kritis*
- Wati mencoba resep kue donat yang baru dibeli dari toko roti. Wati bersama adiknya mulai membuat adonan kue donat. Setelah adonan selesai dibuat, Wati memberi penutup dan membiarkannya selama 1 jam sesuai petunjuk pembuatan. Berbeda halnya dengan adik Wati. Ia mengambil adonan yang mereka buat dan membiarkannya di udara terbuka. Ternyata adonan itu tidak mengembang. Wati mencoba mencari tahu penyebabnya dengan meneliti setiap bungkus bahan adonan itu. Namun, ia tidak mendapat petunjuk apa pun. Coba bantulah Wati menjawab teka-teki itu. Jelaskan pula proses mengembangnya adonan kue donat tersebut.



## Refleksi

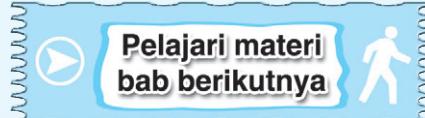
Pelajari kembali

### Metabolisme

- Jawablah beberapa pertanyaan berikut.
1. Apa maksud metabolisme
  2. Apakah enzim itu?
  3. Bagaimana metabolisme berlangsung?

Jawaban betul < 60%

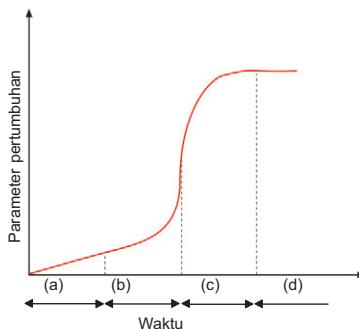
Jawaban betul  $\geq 60\%$



# Latihan Ulangan Blok 1

A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.

1. Perhatikan grafik berikut.

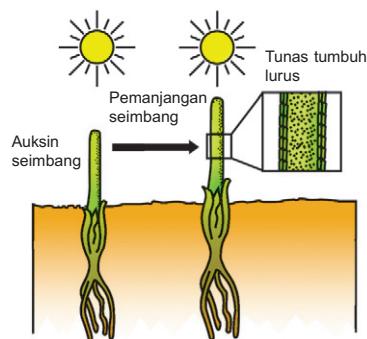


Berdasarkan grafik di atas, fase yang ditunjukkan oleh huruf (c) merupakan fase . . . .

- a. pertumbuhan secara lambat
  - b. perlambatan
  - c. pertumbuhan mencapai maksimum
  - d. pertumbuhan terhenti
  - e. stasioner
2. Berdasarkan tabel hormon beserta fungsinya berikut, hormon asam absisat ditunjukkan pada . . . .

Hormon	Fungsi
A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mempercepat pemasakan buah</li> <li>• Pengguguran bunga</li> </ul>
B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menyebabkan tanaman berbunga sebelum waktunya</li> <li>• Menyebabkan tanaman tumbuh tinggi</li> </ul>
C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merangsang pertumbuhan akar</li> <li>• Mempercepat pelebaran daun</li> <li>• Membantu perkecambahan biji</li> </ul>
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pembentangan sel</li> <li>• Pembelahan sel</li> <li>• Merangsang pembentukan buah dan bunga</li> </ul>
E	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengurangi kecepatan pembelahan</li> <li>• Menyebabkan dormansi</li> </ul>

3. Perhatikan gambar berikut.



Peristiwa pada gambar di atas dipengaruhi oleh aktivitas hormon . . . .

- a. auksin
- b. sitokinin
- c. giberelin
- d. asam absisat
- e. gas etilen

4. Perhatikan faktor-faktor eksternal (lingkungan) yang mempengaruhi pertumbuhan berikut.

- 1) Suhu
- 2) Cahaya
- 3) Air dan mineral
- 4) Ketersediaan oksigen

Faktor lingkungan yang merupakan bahan utama berlangsungnya fotosintesis ditunjukkan pada nomor . . . .

- a. 1) dan 2)
- b. 2) dan 3)
- c. 2) dan 4)
- d. 3) dan 4)
- e. 4) saja

5. Sebelum melakukan percobaan, sebaiknya membuat . . . .

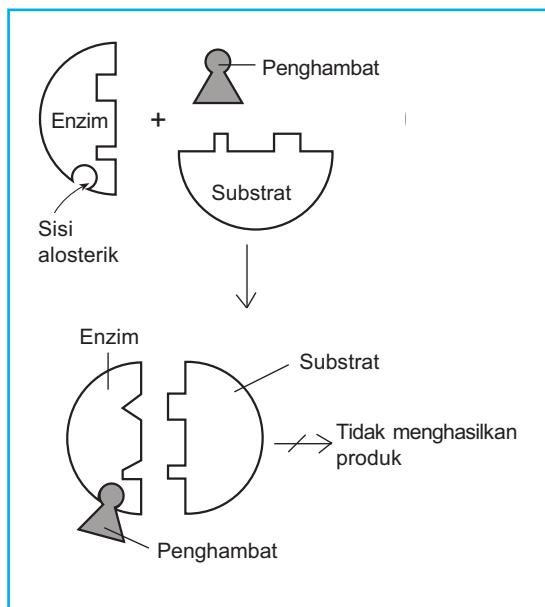
- a. rancangan percobaan
- b. kesimpulan percobaan
- c. perkiraan hasil percobaan
- d. analisis data
- e. laporan percobaan

6. Faktor-faktor yang diukur untuk mengetahui pertumbuhan adalah . . . .

- a. tinggi batang dan warna daun
- b. warna batang dan panjang daun
- c. panjang akar dan tinggi batang
- d. berat tumbuhan dan keadaan akar
- e. warna daun dan warna batang

7. Metabolisme terbagi menjadi dua, yaitu Anabolisme dan Katabolisme. Katabolisme disebut juga . . . .
- asimilasi
  - disimilasi
  - sintesis
  - biosintesis
  - fotosintesis

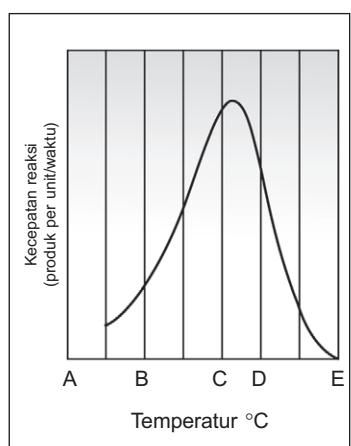
8. Perhatikan gambar berikut.



Menurut jenisnya, inhibitor pada gambar di atas termasuk inhibitor . . . .

- kompetitif
- nonkompetitif
- umpa balik
- tidak reversibel
- alosterik

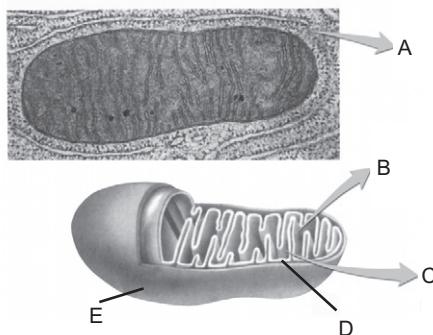
9. Perhatikan grafik berikut.



Berdasarkan grafik hubungan antara temperatur dengan kecepatan reaksi di atas, jika enzim berada pada lingkungan dengan

- suhu E, enzim tersebut akan mengalami berada dalam kondisi . . . .
- ionisasi
  - denaturasi
  - mutarotasi
  - kristalisasi
  - hidrolisis

10. Perhatikan gambar berikut.



Reaksi transisi dan siklus krebs terjadi pada bagian . . . .

- A
- B
- C
- D
- E

11. Jumlah ATP yang dihasilkan pada saat glikolisis jika tumbuhan dalam keadaan stres maupun sedang aktif tumbuh yaitu . . . .

- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

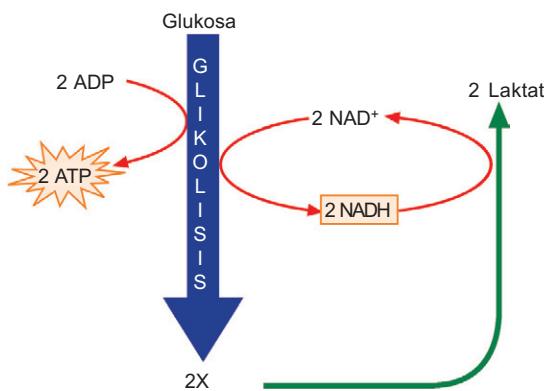
12. Reaksi pembentukan asetil Co-A sering disebut reaksi transisi karena . . . .

- menghubungkan glikolisis dengan daur krebs.
- berlangsung dalam matriks mitokondria
- berlangsung dalam mitosol
- aset asetil (2C) dikonversi menjadi asam pirurat
- terjadi penggabungan dengan Co-enzim A

13. Pada oksidasi aerob, oksigen berperan sebagai . . . .

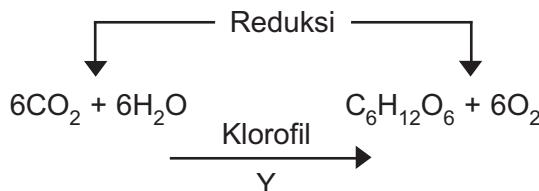
- katalisator
- donor elektron akhir
- penerima elektron akhir
- mengubah energi
- sumber energi

14.



Berdasarkan skema reaksi tersebut zat X, berupa . . .

- asetil co-A
  - asam laktat
  - asam - $\alpha$ -ketoglutarat
  - asam pirurat
  - oksaloasetat
15. Pada proses fermentasi alkohol, asetaldehid direduksi menjadi . . .
- etil alkohol
  - metil alkohol
  - pirurat
  - NADH
  - ATP
16. Mikroorganisme yang memiliki enzim untuk mendekarboksilasi piruvat menjadi asetal dehid yaitu . . .
- Rhizopus*
  - Yeast*
  - Lactobacillus*
  - Nitrosomonas*
  - Nitrosobacter*
17. Perhatikan reaksi berikut.



Reaksi di atas dapat terjadi jika Y diganti dengan . . .

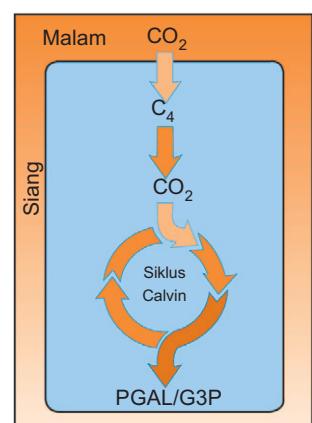
- $\text{H}_2\text{O}$
- $\text{CO}_2$
- $\text{O}_2$
- Cahaya
- karbohidrat

18. Pigmen yang berfungsi menyerap energi cahaya terdapat dalam . . .
- membran luar kloroplas
  - membran dalam kloroplas
  - matriks fluida
  - cairan yang disebut stroma
  - kantung-kantung yang disebut tilakoid

19. Pusat reaksi pada fotosistem I terdapat pada . . .

- P700
- P680
- klorofil b
- kompleks antena
- penerima elektron

20. Perhatikan gambar berikut.



Fiksasi  $\text{CO}_2$  pada tanaman CAM

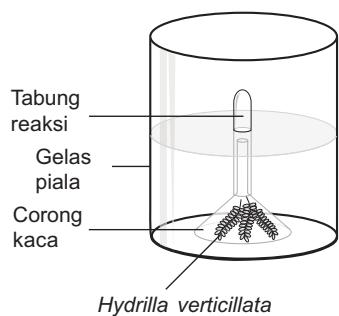
Fiksasi  $\text{CO}_2$  siklus Calvin pada gambar di atas terjadi pada tanaman . . .

- tebu
- nanas
- padi
- pisang
- kaktus

B. Jawablah soal-soal berikut.

- Sebutkan hormon-hormon yang mempengaruhi pertumbuhan pada tumbuhan.
- Sebutkan faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan pada tumbuhan.
- Apakah makroelemen dan mikroelemen itu?
- Bagaimana cara untuk merumuskan suatu masalah dalam metode ilmiah?
- Sebutkan bagian-bagian yang terdapat dalam susunan laporan penelitian.

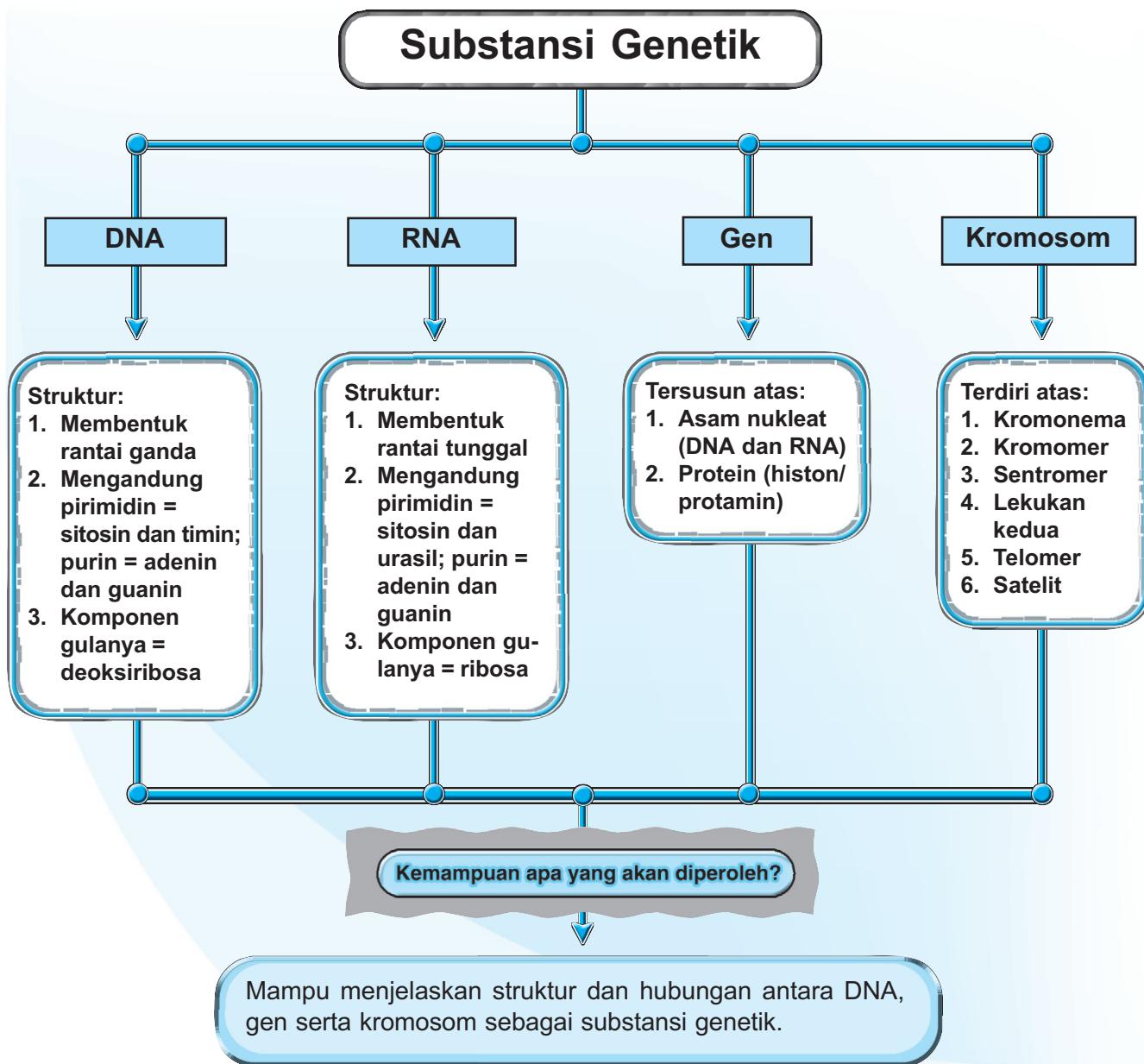
6. Sebutkan dan jelaskan teori yang menjelaskan laporan penelitian.
7. Sebutkan sifat-sifat enzim.
8. Apa sebabnya respirasi anaerob hanya dapat dilakukan oleh mikroorganisme?
9. Jelaskan perbedaan respirasi anaerob dan fermentasi.
10. Apa perbedaan katabolisme dan anabolisme?
11. Pada percobaan mengamati pengaruh intensitas cahaya terhadap kecepatan fotosintesis pada gambar berikut, apa yang menyebabkan timbulnya gelembung-gelembung dalam tabung reaksi?



12. Apa yang dimaksud dengan reaksi terang dan reaksi gelap pada proses fotosintesis?
13. Sebutkan bagian-bagian yang terdapat dalam suatu fotosistem.
14. Apakah maksud dari fosforilasi?
15. Bagaimana cara menghindari kelebihan gula dalam makanan untuk penderita *Diabetes mellitus*?

# Bab III

## Substansi Genetik





Sumber: Dokumentasi Penerbit

Hampir semua produk perdagangan disertai *barcode* (kode garis), untuk menyampaikan informasi tentang harga, nama produk, hingga jumlah stok.

Tahukah Anda bahwa manusia juga mempunyai "barcode"? Pada manusia *barcode* itu berupa profil DNA. Profil DNA dapat diperoleh melalui tes profil DNA. Tes ini dapat digunakan untuk mengungkap suatu misteri misalnya peristiwa pembunuhan.

Jika di tempat kejadian perkara (TKP) ditemukan sel, seperti sel darah, ahli forensik akan melakukan tes profil DNA. Hasil inilah yang akan dicocokkan dengan tersangka. Jika barcode ini cocok dengan milik tersangka, dia tidak bisa mengelak lagi. Apa sebenarnya DNA itu? Mari kita pelajari. Setelah mempelajari bab ini Anda diharapkan dapat mengenal dan memahami substansi genetik.

### Kata Kunci

- DNA
- RNA
- nukleus
- replikasi
- transkripsi
- kodon
- sintesis protein
- gen
- kromosom
- double helix*

Komponen terkecil penyusun makhluk hidup disebut **sel**. Setiap sel memiliki nukleus yang mengandung kromosom. Setiap makhluk hidup memiliki jumlah kromosom tertentu. Dalam kromosom ditemukan DNA yang berperan penting dalam menentukan sifat genetik setiap individu. Sifat genetik itu dapat diwariskan kepada generasi berikutnya. Oleh karena setiap individu memiliki DNA yang khas, maka DNA dapat digunakan untuk identifikasi makhluk hidup.

Mengapa DNA sangat penting dalam menentukan sifat genetik setiap individu? Hal ini akan kita bahas dalam bab berikut.

## A. DNA(*Deoxyribonucleic Acid*) dan RNA(*Ribonucleic Acid*)

Substansi dasar nukleus terdiri atas nukleoprotein yang dibangun oleh senyawa protein dan asam nukleat. Ada dua jenis asam nukleat yang berkaitan dengan hereditas, yaitu DNA dan RNA. Keduanya bertanggung jawab terhadap sintesis protein serta mengontrol sifat-sifat keturunan.

### 1. DNA (*Deoxyribonucleic Acid = Asam Deoksiribo Nukleat*)

DNA memiliki beberapa fungsi di antaranya membawa informasi genetik, membentuk RNA, dan mengontrol aktivitas sel baik secara langsung maupun tidak langsung. DNA juga berperan penting dalam proses sintesis protein.

#### a. Struktur DNA

Molekul DNA pertama kali diisolasi oleh **F. Miescher** pada tahun 1869 dari sel spermatozoa. Ia tidak dapat mengenali sifat zat kimia tersebut secara pasti, kemudian menyebutnya sebagai **nuklein**. Nuklein ini berupa senyawa kompleks yang mengandung unsur fosfor sangat tinggi. Nuklein selanjutnya dikenal sebagai gabungan asam nukleat dan protein sehingga sering disebut *nukleoprotein*. Dalam kedua jenis asam nukleat ini (DNA dan RNA) terdapat dua basa nitrogen yaitu *purin* dan *pirimidin*. Keduanya ditemukan oleh **Fischer** pada tahun 1880. Pada penelitian selanjutnya, **Kossel** menemukan dua jenis pirimidin, yaitu *sitosin* dan *timin* serta dua jenis purin, yaitu *adenin* dan *guanin*.

Selain basa purin dan pirimidin, dalam asam nukleat **Levine** (1910) mengenali gula berkarbon lima, yaitu ribosa dan deoksiribosa. Ia juga menyatakan adanya asam fosfat dalam asam nukleat.

**W.T. Atsbury merupakan** orang pertama yang mengemukakan gagasan tentang struktur tiga dimensi DNA. Ia menyimpulkan bahwa DNA sangat padat, polinukleotida penyusunnya berupa timbunan nukleosida pipih yang teratur tegak lurus terhadap sumbu memanjang. Apakah nukleotida dan nukleosida itu? Uraian berikut akan membahas kedua hal tersebut.

**James Watson** dan **Francis Crick** (1953) mengemukakan suatu model struktur DNA yaitu *double helix* (tangga berpilin). Menurut mereka, DNA memiliki struktur sebagai berikut.



### Eksperimen Plus

#### Bagaimana Mengekstrak DNA dari Sayuran?

Sediakan sayuran (misalnya brokoli) sekitar 100 mg, tambahkan  $\frac{1}{8}$  sendok teh garam dan 200 mL air es. Blender dengan kecepatan tinggi ±15 detik. Saring, kemudian tambahkan ±30 mL larutan detergen lalu dikocok. Diamkan campuran tersebut ±5–10 menit. Letakkan campuran itu dalam tabung reaksi ±  $\frac{1}{3}$  tingginya. Tambahkan sedikit jus nanas pada setiap tabung dan kocok perlahan.

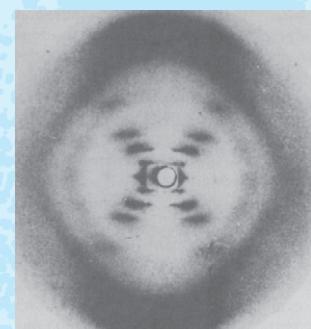
Miringkan tabung reaksi dan tambahkan alkohol (70–95% ethyl alkohol) melewati sisi tabung sampai terbentuk lapisan di atas campuran brokoli tersebut. DNA brokoli akan naik ke lapisan alkohol.



### Tahukah Anda

#### Pembuatan Foto DNA

**Rosalind Franklin** (1920–1958) bersama **Wilkins** merupakan tokoh yang berhasil membuat foto DNA melalui difraksi sinar-X, seperti gambar berikut.

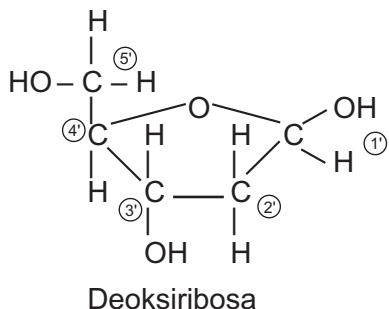


Sumber: Biology, Raven & Johnson

Foto tersebut mengilhami Watson dan Crick untuk membuat model struktur DNA berupa tangga terpilin (*double helix*).

- 1) Gula dan fosfat sebagai rantai atau tangga utama.
- 2) Basa nitrogen sebagai anak tangga dengan pasangan tetap, yaitu:
  - a) guanin dengan sitosin (dihubungkan oleh tiga atom H),
  - b) timin dan adenin (dihubungkan oleh dua atom H).

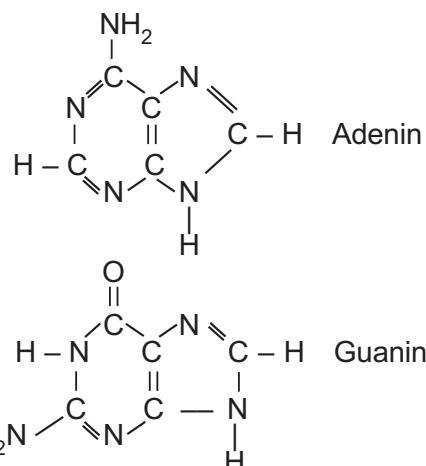
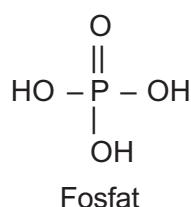
Berdasarkan hasil penelitian Watson dan Crick dapat disimpulkan bahwa DNA terdiri atas gula pentosa (deoksiribosa), fosfat ( $\text{PO}_4^{2-}$ ), dan basa nitrogen yaitu purin meliputi guanin (G) dan adenin (A) serta pirimidin yang meliputi timin (T) dan sitosin (C = Cytosine). Rumus bangun deoksiribosa dan fosfat dapat Anda lihat pada Gambar 3.1. Sementara itu, rumus bangun purin dan pirimidin dapat Anda amati pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 3.1

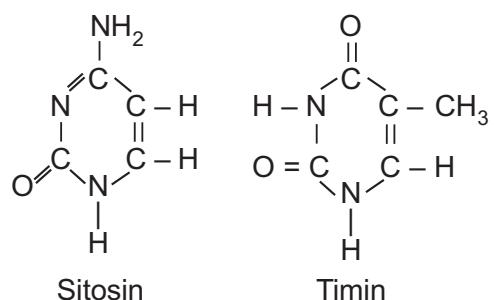
Rumus bangun deoksiribosa dan fosfat



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 3.2

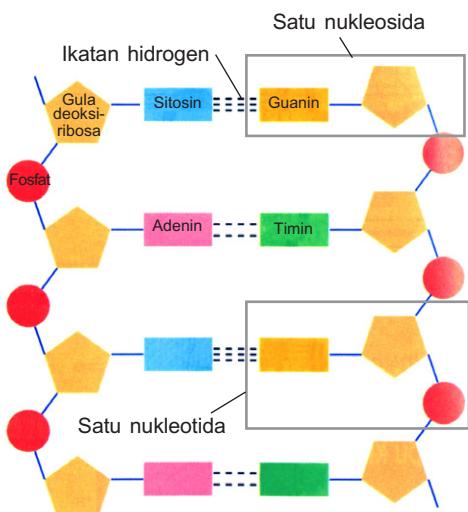
Rumus bangun purin



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 3.3

Rumus bangun pirimidin



Sumber: New Understanding Biology for Advanced Level,  
Glenn & Susan Toole

Gambar 3.4

Struktur DNA

Rangkaian kimia antara deoksiribosa dengan purin dan pirimidin disebut **nukleosida** (deoksiribonukleosida). Nukleosida tersebut akan berikatan dengan fosfat membentuk **nukleotida** (deoksiribonukleotida). Gabungan dari nukleotida-nukleotida akan membentuk suatu **DNA**. Jadi, molekul DNA merupakan polimer panjang dari nukleotida yang dinamakan **polinukleotida**. Perhatikan Gambar 3.4 di samping.



## Tugas Kelompok

Bentuklah beberapa kelompok untuk membuat makalah dengan tema yang berhubungan dengan temuan Watson dan Crick mengenai struktur, sifat, dan fungsi DNA. Selain itu, setiap kelompok dapat juga membuat makalah tentang cara DNA menyampaikan informasi genetik kepada keturunan. Presentasikan makalah kelompok Anda di kelas.

DNA dapat menentukan sifat genetik suatu individu karena setiap makhluk hidup mempunyai urutan pasangan basa yang spesifik dan berbeda dengan yang lain. Perbedaan urutan pasangan basa antarindividu dapat dilihat pada saat *sequence* (proses pengurutan basa) dalam analisis DNA. DNA dapat berfungsi sebagai heterokatalitik (mensintesis molekul lain seperti RNA) dan otokatalitik (replikasi diri). Berikut ini Anda akan mempelajari fungsi DNA sebagai otokatalitik.

### b. Replikasi DNA

Replikasi DNA akan menghasilkan DNA baru. Ada tiga hipotesis yang menjelaskan terjadinya replikasi DNA. Hipotesis pertama menyatakan bahwa bentuk *double helix* DNA yang lama tetap dan langsung menghasilkan *double helix* yang baru disebut **konservatif**. Hipotesis kedua menyatakan *double helix* akan terputus-putus, selanjutnya segmen-segmen tersebut akan membentuk segmen-segmen baru yang bergabung dengan segmen lama membentuk DNA baru. Hipotesis ini disebut **dispersif**. Hipotesis ketiga menyatakan dua pita spiral dari *double helix* memisahkan diri dan setiap pita tunggal mencetak pita pasangannya disebut **semikonservatif**.

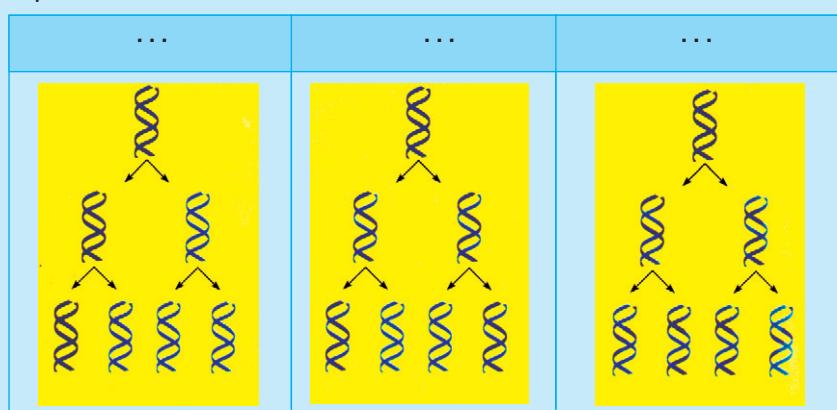
Lakukan kegiatan berikut agar Anda lebih mengenal ketiga hipotesis yang menjelaskan terjadinya replikasi DNA.

Replikasi DNA berlangsung pada sel-sel muda yaitu pada saat interfase (mitosis). Mengenai fase-fase mitosis dan meiosis akan dipelajari pada bab IV.

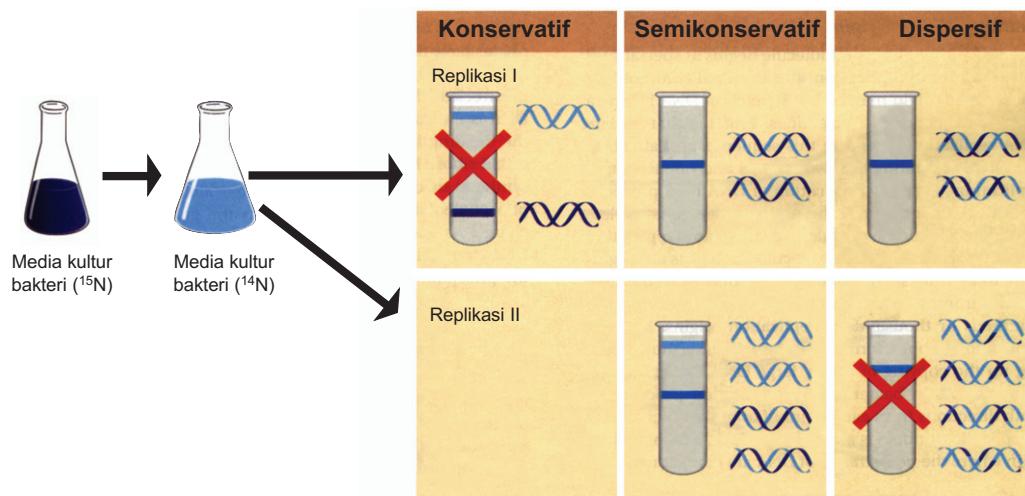


## Forum Diskusi

Perhatikan skema replikasi DNA di bawah ini. Diskusikan dengan teman-teman Anda dan tentukan hipotesis yang sesuai pada proses replikasi tersebut.



Teori replikasi DNA oleh Watson dan Crick menyatakan bahwa proses replikasi terjadi secara semikonservatif. Hipotesis ini mendapat dukungan kuat dari **M.S. Meselson** dan **F.W. Stahl**. Mereka menggunakan bakteri *Escherichia coli* sebagai organisme percobaan. *E. coli* dapat hidup pada garam anorganik jika dalam garam tersebut terdapat sumber atom nitrogen untuk pembuatan protein dan asam nukleat. Meselson dan Stahl memakai ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dalam penelitiannya. Meskipun isotop nitrogen yang paling lazim  $^{14}\text{N}$ , tetapi mereka menggunakan ion amonium yang mengandung isotop nitrogen yang lebih berat, yaitu  $^{15}\text{N}$ . Perhatikan Gambar 3.5.



Sumber: *Biology, Campbell*

**Gambar 3.5**

Replikasi DNA menurut Meselson dan Stahl

Pertama-tama Meselson dan Stahl memelihara *E. coli* selama beberapa generasi dalam media yang mengandung  $^{15}\text{NH}_4^+$ . Pada akhir periode ini, mereka menemukan DNA sel lebih berat dari normal. Selanjutnya, mereka memindahkan sel-sel itu ke media yang mengandung ion amonium normal ( $^{14}\text{NH}_4^+$ ) dan membiarkan sel tersebut hanya sekali membelah diri. DNA pada generasi baru ini memiliki berat di antara berat DNA normal dari DNA generasi sebelumnya. Hal ini menggambarkan bahwa pengaruh dari atom nitrogen dalam DNA baru yaitu  $^{14}\text{N}$  dan separuh  $^{15}\text{N}$ . Namun, apabila bakteri itu dibiarkan membelah diri lagi dalam ion amonium normal ( $^{14}\text{NH}_4^+$ ) maka terbentuklah dua jenis DNA dengan berat yang berbeda. Separuh dari DNA mempunyai berat normal dan separuh DNA lainnya mempunyai berat di tengah-tengah. Hal tersebut membuktikan bahwa molekul DNA tidak mengalami pemecahan dan penyusunan kembali di antara pembelahan sel-sel, tetapi tiap pita induk tidak mengalami perubahan saat ia membentuk pita komplementer. Berdasarkan uraian di atas maka hipotesis yang paling tepat yaitu hipotesis semikonservatif.

Selain memerlukan deoksiribonukleotida, dalam proses replikasi DNA juga memerlukan beberapa enzim berikut.

- 1) *Helikase*, enzim ini berfungsi menghidrolisis rantai ganda polinukleotida menjadi dua rantai tunggal polinukleotida.
- 2) *Polimerase*, berfungsi merangkai rantai-rantai mononukleotida membentuk DNA baru.
- 3) *Ligase*, berfungsi menyambung nukleotida ulir tunggal DNA yang baru terbentuk.

Fungsi DNA sebagai heterokatalitik yaitu mensintesis molekul lain seperti RNA. RNA merupakan hasil transkripsi DNA. Sel prokariotik dan eukariotik mengandung asam inti yang disebut asam ribonukleat (RNA).

## 2. RNA (*Ribonucleic Acid = Asam Ribonukleat*)

RNA tersusun seperti DNA, yaitu molekul-molekul gula D-ribosa, gugus fosfat, tetapi basa nitrogennya terdiri atas basa purin (meliputi adenin (A) dan guanin (G)) serta pirimidin (meliputi urasil (U) dan sitosin (C)). Perhatikan Gambar 3.6.

### a. Struktur RNA

Berbeda dengan DNA yang memiliki rantai ganda, RNA hanya memiliki rantai tunggal. Setiap pita RNA merupakan polinukleotida dari RNA.

### b. Tipe-Tipe RNA

Berbeda halnya dengan DNA yang terletak dalam nukleus, RNA banyak terdapat dalam sitoplasma terutama ribosom walaupun ada pula beberapa di antaranya dalam nukleus. Dalam sitoplasma, kadar RNA berubah-ubah. Hal ini dipengaruhi oleh aktivitas sintetis protein. Ketika suatu protein akan disintetis, kandungan RNA dalam sel meningkat begitu pula sebaliknya. RNA memiliki komponen gula berupa D-ribosa (pentosa). RNA juga memiliki basa nitrogen yang serupa dengan DNA, hanya saja basa timin pada pirimidin diganti dengan urasil.

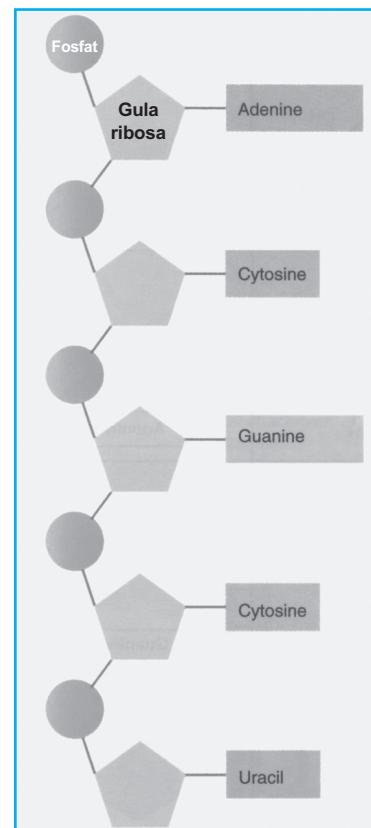
RNA mempunyai tiga tipe berikut.

#### 1) *rRNA (ribosom RNA)*

rRNA yaitu RNA yang terdapat dalam sitoplasma tepatnya di ribosom dan berfungsi mengatur dalam proses sintesis protein. rRNA dapat mencapai 80% dari jumlah RNA sel. Molekul rRNA berupa pita tunggal tidak bercabang dan fleksibel.

#### 2) *mRNA (messenger RNA)*

mRNA dibentuk dalam nukleus, merupakan RNA terbesar dan terpanjang. mRNA berfungsi membawa kode genetik dari DNA ke ribosom. mRNA sering disebut **kodon** karena urutan basa N penyusunnya merupakan kode genetik untuk sintesis protein. mRNA dicetak oleh DNA dalam inti, kemudian dikirim ke ribosom. Sintesis mRNA dicetak oleh DNA saat diperlukan saja dan tidak terus-menerus dicetak melainkan tergantung pada macam protein yang akan disintesis dalam sitoplasma.



Sumber: *New Understanding Biology for Advanced Level*, Glenn & Susan Toole

Gambar 3.6

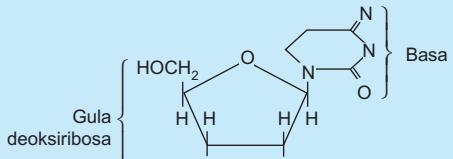
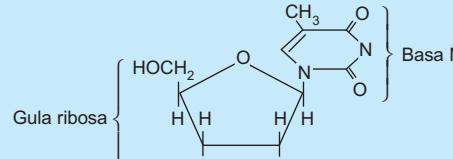
Struktur RNA

### 3) tRNA (transfer RNA)

tRNA merupakan RNA yang terdapat dalam sitoplasma dengan rantai terpendek yang bertugas menerjemahkan kodon dari mRNA. rRNA berfungsi mengangkut asam amino ke tempat sintesis protein, yaitu ribosom melalui penerjemahan kode-kode yang dibawa mRNA.

DNA dan RNA memiliki komponen yang hampir sama tetapi keduanya memiliki perbedaan struktur, fungsi, dan beberapa materi penyusun. Perhatikan tabel berikut.

**Tabel 3.1 Perbandingan Struktur, Fungsi, dan Materi Penyusun DNA dan RNA**

DNA	RNA
<p>1. Ditemukan dalam nukleus yaitu dalam kromosom, mitokondria, dan kloroplas.          2. Berupa rantai panjang dan ganda (<i>double helix</i>).          3. Fungsinya berhubungan erat dengan penurunan sifat dan sintesis protein.          4. Kadarnya tidak dipengaruhi oleh aktivitas sintesis protein.          5. Basa nitrogen terdiri atas purin: <i>adenin</i> (A) dan <i>guanin</i> (G), pirimidin: <i>timin</i> (T) dan <i>sitosin</i> (C).          6. Komponen gulanya <i>deoksiribosa</i>, yaitu ribosa yang kehilangan satu atom oksigen pada atom C nomor 2.</p> <div style="text-align: center;">  <p>Gula deoksiribosa</p> </div>	<p>1. Ditemukan dalam sitoplasma, terutama dalam ribosom, dan juga dalam nukleus.          2. Berupa rantai pendek dan tunggal.          3. Fungsinya berhubungan erat dengan sintesis protein.          4. Kadarnya dipengaruhi oleh aktivitas sintesis protein.          5. Basa nitrogen terdiri atas purin: <i>adenin</i> (A) dan <i>guanin</i> (G), pirimidin: <i>urasil</i> (U) dan <i>sitosin</i> (C).          6. Komponen gulanya <i>D-ribosa</i> (pentosa).</p> <div style="text-align: center;">  <p>Gula ribosa</p> </div>

Anda telah mengetahui struktur DNA dan RNA. Pada halaman depan telah disebutkan bahwa kedua asam nukleat tersebut bertanggung jawab terhadap proses sintesis protein.

### 3. Sintesis Protein

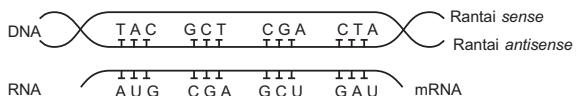
Pada uraian mengenai DNA telah disebutkan bahwa DNA berfungsi sebagai heterokatalis (mensintesis molekul lain). Uraian berikut merupakan salah satu contoh fungsi DNA tersebut.

DNA yang terletak di dalam nukleus merupakan suatu cetakan kode genetik yang menghasilkan informasi genetik. Kode genetik disusun oleh urutan basa nitrogen (A, T, G, dan C). Dalam sintesis protein, kode-kode genetik dalam DNA disalin menjadi mRNA. Proses ini disebut **transkripsi**. Proses ini diawali dengan melekatnya RNA polimerase pada molekul DNA sehingga sebagian rantai double helix DNA membuka. Akibatnya, salah satu rantai DNA yang membuka tersebut mencetak RNA. Rantai DNA yang mengandung kode-kode genetik (kodon) dan dapat mencetak mRNA disebut **rantai sense**. Rantai DNA yang tidak mencetak mRNA disebut **rantai antisense**. Misalkan urutan basa N pada rantai DNA terdiri atas TAC, GCT, CGA, dan CTA maka urutan basa N pada rantai mRNA yaitu AUG, CGA, GCU, dan GAU. Perhatikan susunan DNA dan RNA berikut.

- Aturan pencetakan RNA oleh DNA sebagai berikut.
- 1) Gula berupa pentosa (ribosa).
  - 2) Basa N:

<b>DNA</b>	<b>RNA</b>
Adenin	Urasil
Timin	Adenin
Guanin	Sitosin
Sitosin	Guanin





Setelah disalin, mRNA keluar dari nukleus menuju sitoplasma. mRNA tidak dapat mengenali suatu asam amino secara langsung. Oleh karena itu, diperlukan tRNA untuk dapat membaca kode-kode yang dibawa mRNA. Di dalam sitoplasma banyak terdapat tRNA, asam amino dan enzim amino asil sintetase. Asam amino tersebut diaktifkan menggunakan ATP (Adenosin Trifosfat) dan enzim amino asil sintetase sehingga dihasilkan Amino asil Adenosin monofasfat (AA-AMP) dan fosfat organik. Selanjutnya Aminoasil Adenosin monofosfat diikat oleh t-RNA dan dibawa ke ribosom. Setiap tRNA memiliki tiga basa N dan asam amino, tiga basa N tRNA akan berpasangan dengan tiga basa N mRNA yang sesuai. mRNA merupakan susunan kodon yang panjang. Setiap tRNA akan menerjemahkan tiga basa. Setelah tRNA pertama melepaskan diri, datang tRNA selanjutnya, begitu terus-menerus sampai kodon pada mRNA habis.

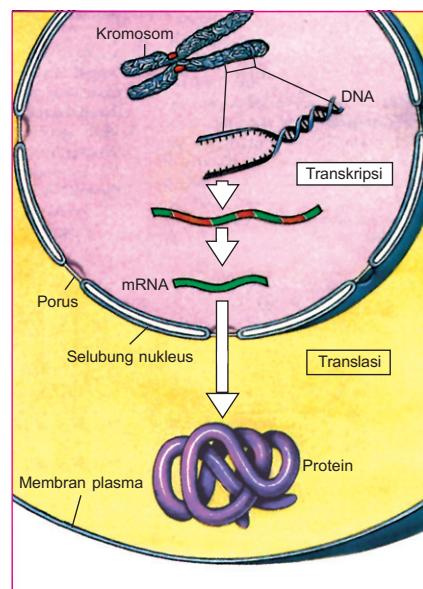
Asam amino yang terbentuk selama penerjemahan oleh tRNA akan membentuk suatu ikatan. Bagian basa N pada tRNA yang menerjemahkan kode yang dibawa mRNA disebut **antikodon**. Sementara itu, tiga bagian basa N pada mRNA tersebut di atas yang memiliki kode untuk menspesifikasikan asam amino disebut **kodon**. Proses penerjemahan kode yang dibawa mRNA oleh tRNA disebut **translasi**. Asam amino-asam amino akan berjajar membentuk urutan sesuai dengan kode yang dibawa mRNA sehingga terbentuklah protein. Protein tersebut merupakan enzim yang berfungsi mengatur metabolisme sel. Langkah-langkah dalam sintesis protein dapat Anda lihat pada Gambar 3.7.

Anda telah mempelajari tugas tRNA yang membawa asam amino sebagai bahan untuk menyusun protein. Bagaimanakah cara tRNA menerjemahkan kode-kode perintah dari DNA itu?

#### 4. Kode Genetik

Anda telah mengetahui bahwa dalam DNA terdapat empat basa nitrogen meliputi adenin (A), timin (T), sitosin (C), dan guanin (G). Anda juga telah mengetahui RNA mengandung 4 basa nitrogen tersebut, tetapi urasil (U) menggantikan timin (T).

**Nirenberg** dan **Matthaei** (1960) mengadakan percobaan untuk memecahkan masalah kode genetik dengan mencampurkan urasil dengan enzim pembentuk RNA. Dari percampuran ini dihasilkan RNA yang hanya terdiri atas urasil dan dinamakan poli-Urasil (poli-U). Apabila poli-U dimasukkan ke dalam campuran berbagai asam amino, akan terbentuk rangkaian fenilalanin, yaitu protein yang terdiri atas satu macam asam amino. Hal ini merupakan cara manusia pertama kali mampu memecahkan peristiwa kehidupan melalui tabung reaksi kimia. Sampai saat ini pun manusia terus melakukan penelitian untuk mengetahui proses-proses yang terjadi dalam sel makhluk hidup. Rumitnya susunan tubuh makhluk hidup menunjukkan betapa pandainya sang Pencipta. Kita hendaknya bersyukur kepada Tuhan karena diberi akal sehingga mampu mengungkap rahasia kehidupan.



Sumber: Biology, Raven

Gambar 3.7

Skema sintesis protein

Kode genetik yang dipakai saat ini yaitu kode yang tersusun oleh 3 basa N yang disebut **kodon triplet**. Kodon triplet ini merupakan bagian 3 basa N yang terdapat pada mRNA. Apabila suatu urutan tiga basa memberikan kode untuk satu asam amino, akan terjadi  $4^3 = 64$  kemungkinan kombinasi dari basa sehingga dapat memperinci 64 macam kode genetika. Asam amino yang dikenal sampai saat ini sebanyak 20 macam. Adanya 64 macam kodon dan 20 macam asam amino menyebabkan satu asam amino dapat memiliki lebih dari satu kodon. Kodon yang sesuai untuk setiap asam amino dapat dilihat dalam tabel berikut.

**Tabel 3.2** Kodon Beberapa Asam Amino

Basa Pertama	Basa Kedua								Basa Ketiga
	U		C		A		G		
U	UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys	U
	UUC	Phe	UCC	Ser	UAC	Tyr	UGC	Cys	C
	UUA	Leu	UCA	Ser	UAA	Term	UGA	Term	A
	UUG	Leu	UCG	Ser	UAG	Term	UGG	Tryp	G
C	CUU	Leu	CCU	Pro	CAU	His	CGU	Arg	U
	CUC	Leu	CCC	Pro	CAC	His	CGC	Arg	C
	CUA	Leu	CCA	Pro	CAA	GluN	CGA	Arg	A
	CUG	Leu	CCG	Pro	CAG	GluN	CGG	Arg	G
A	AUU	Ileu	ACU	Thr	AAU	AspN	AGU	Ser	U
	AUC	Ileu	ACC	Thr	AAC	AspN	AGC	Ser	C
	AUA	Ileu	ACA	Thr	AAA	Lys	AGA	Arg	A
	AUG	Met	ACG	Thr	AAG	Lys	AGG	Arg	G
G	GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gly	U
	GUC	Val	GCC	Ala	GAC	Asp	GGC	Gly	C
	GUA	Val	GCA	Ala	GAA	Glu	GGA	Gly	A
	GUG	Val	GCG	Ala	GAG	Glu	GGG	Gly	G

**Keterangan:**

U = Urasil	C = Sitosin	A = Adenin
G = Guanin	Term = Kodon terminasi	AspN = Aspargin
Ala = Alanin	Arg = Arginin	Gly = Glycine
Cys = Cystein	GluN = Glutamin	Leu = Leusin
His = Histidin	Ileu = Isoleusin	Phe = Phenylalanin
Lys = Lysin	Met = Methionin	Thr = Threonin
Pro = Prolin	kodon start	Val = Valin
Tryp = Tryptofan	Ser = Serin	Glu = Glutamat acid
	Tyr = Tyrosin	

Kode genetik berlaku universal, artinya kode yang sama berlaku untuk semua organisme. Bila terjadi kesalahan perjemahan, protein yang disusun juga keliru sehingga enzim yang dihasilkan tidak sesuai. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya gangguan metabolisme. Kekeliruan tRNA menafsirkan kode-kode genetik yang diterima dari DNA juga merupakan salah satu mekanisme mutasi gen.



## Uji Kompetensi A

Jawablah soal-soal berikut.

1. Apakah hubungan antara DNA dengan RNA?
2. Apakah perbedaan struktur antara DNA dengan RNA?
3. Apa yang akan terjadi bila terdapat kekeliruan penerjemahan basa-basa nitrogen pada peristiwa translasi?
4. Bagaimana protein dapat terjadi?
5. Bagaimana percobaan Meselson dan Stahl mengenai replikasi DNA dapat dikatakan mendukung hipotesis Watson dan Crick?

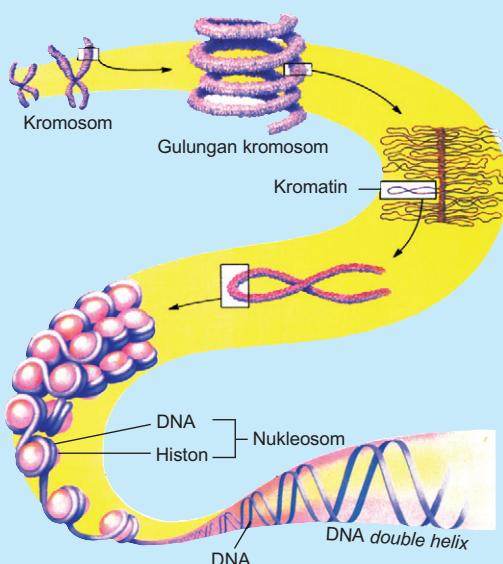
## B. Gen dan Kromosom

Anda tentu sering mendengar bahwa sel berperan dalam pewarisan sifat makhluk hidup. Pengendali faktor keturunan pada makhluk hidup disebut **gen** dan terdapat pada kromosom yang berada di dalam nukleus. Dari uraian sebelumnya, Anda sudah mengetahui bahwa komponen asam nukleat yaitu **DNA** dan **RNA** memiliki peranan besar dalam pembentukan pola heridas. Apa yang membedakan DNA dengan gen?

Sebelum kita menjelaskan hubungan gen dengan kromosom, diskusikan gambar berikut.



## Forum Diskusi



Cermati gambar di atas. Selanjutnya diskusikan bersama kelompok Anda mengenai hubungan antara DNA, gen, dan kromosom. Presentasikan hasil diskusi di depan kelas.

## 1. Gen

Terdapat sejumlah kromosom di dalam nukleus. Menurut **Suryo** (1997) kromosom tersusun atas nukleoprotein, yaitu persenyawaan antara asam nukleat dan protein seperti histon atau protamin. Namun, yang membawa keterangan genetik hanyalah asam nukleat saja. Asam nukleat itu meliputi DNA dan RNA. Anda telah mengetahui struktur dan fungsi DNA dari subbab sebelumnya. Bagian dari rantai DNA yang dapat mengkode suatu polipeptida melalui proses transkripsi dan translasi disebut **gen**. Setiap gen dalam kromosom dimulai dari kodon AUG (*start*) disebut pula sebagai **kodon permulaan**, karena memulai sintesis polipeptida. Kodon UGA, UAG, dan UAA disebut **kodon tak bermakna** (*stop* = tanda akhir dari suatu protein) karena kodon-kodon ini tidak mengkode asam amino.

Setiap gen terletak pada suatu lokus. Menurut **Morgan**, gen memenuhi lokus suatu kromosom sebagai zarah kompak yang mengandung satuan informasi genetik dan mengatur sifat-sifat menurun tertentu. Pada kenyataannya, batas-batas lokus satu sama lain tidak seperti kotak dan gen itu sendiri masing-masing tidak kompak seperti butir-butir kelereng.

**G.W. Beadle** dan **E.L. Tatum** menyatakan bahwa setiap gen pada organisme mengendalikan produksi suatu enzim khusus. Enzim-enzim itu akan melakukan semua kegiatan metabolisme organisme tersebut sehingga mengakibatkan perkembangan suatu struktur dan fisiologi yang khas, yaitu fenotipe organisme tersebut.

## 2. Kromosom

Kromosom terdapat di dalam nukleus berupa benda-benda halus berbentuk lurus atau bengkok lihat Gambar 3.9. Nama kromosom pertama kali diberikan oleh **Waldeyer** (1888) berasal dari kata *khroma* artinya warna dan *soma* artinya tubuh. Jadi, kromosom dapat diartikan sebagai badan yang mudah menyerap zat warna. Bahan yang menyusun kromosom yaitu *kromatin* sehingga sering disebut **benang kromatin**.

Kromosom merupakan badan berbentuk batang atau bengkok, mulai tampak pada saat sel akan membelah dan selama proses pembelahan. Kromosom tampak jelas pada fase pembelahan metafase karena kromosom berjajar di bidang ekuator. Ukuran kromosom dalam sebuah sel tidak pernah sama. Panjangnya  $0,2\text{--}50\ \mu$  dan diameternya  $0,2\text{--}20\ \mu$ .

Perhatikan Gambar 3.10. Secara umum, sebuah kromosom terdiri atas bagian-bagian kromonema, kromomer, sentromer, leukan kedua, telomer, dan satelit. Perhatikan struktur kromosom berikut.

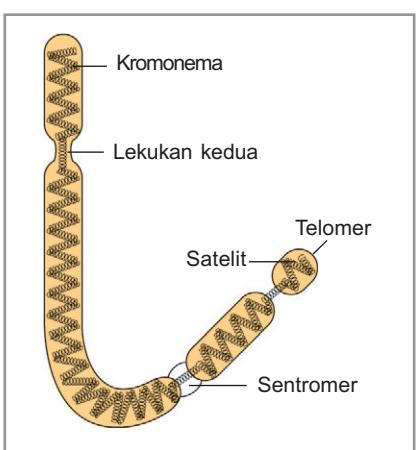
- Kromonema* berupa pita spiral yang terdapat penebalan.
- Kromomer* merupakan penebalan-penebalan pada kromonema. Di dalam kromomer terdapat protein yang mengandung molekul DNA. Beberapa DNA bergabung membentuk gen yang berfungsi sebagai pembawa bagian sifat keturunan dan menempati suatu bagian yang disebut sebagai **lokus gen**.



Sumber: *Biology*, Raven & Johnson

Gambar 3.8

Fotograf kromosom manusia (950x)



Sumber: *Genetika Manusia*, Suryo

Gambar 3.9

Kromosom dan bagian-bagiannya

- c. *Sentromer* merupakan bagian kromosom yang menyempit dan tampak lebih terang. Bagian ini tidak mengandung gen dan merupakan tempat melekatnya benang spindel.
- d. *Lekukan kedua* berperan dalam pembentukan nukleolus (anak inti sel).
- e. *Telomer* merupakan bagian ujung-ujung kromosom yang menghalangi-halangi bersambungnya ujung kromosom yang satu dengan kromosom yang lain.
- f. *Satelit* yaitu suatu tambahan atau tonjolan yang terdapat pada ujung kromosom. Tidak semua kromosom mempunyai satelit.

Berdasarkan jumlah sentromernya, terdapat tiga jenis kromosom berikut.

- a. *Monosentris*, kromosom yang hanya memiliki sebuah sentromer.
- b. *Disentris*, kromosom yang memiliki dua sentromer.
- c. *Polisentris*, kromosom yang memiliki banyak sentromer.

Berdasarkan letak sentromernya, kromosom dibedakan menjadi empat macam, yaitu *metasentris*, *submetasentris*, *akrosentris*, dan *telosentris*.

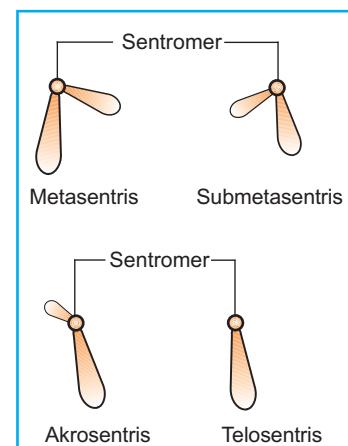
- a. *Metasentris*, sentromer terletak di tengah-tengah kromosom sehingga kromosom berbentuk seperti huruf V.
- b. *Submetasentris*, sentromer terletak submedian atau kira-kira ke arah salah satu ujung kromosom. Bentuk kromosom seperti huruf J.
- c. *Akrosentris*, sentromer terletak pada subterminal atau di dekat ujung kromosom. Satu lengan kromosom sangat pendek dan satu lengan lainnya sangat panjang. Bentuk kromosom lurus atau seperti batang.
- d. *Telosentris*, sentromer terletak pada ujung kromosom. Kromosom hanya memiliki satu lengan saja.

Keempat jenis kromosom tersebut dapat Anda amati pada Gambar 3.10.

Berdasarkan bentuknya, kromosom digolongkan menjadi enam macam, yaitu:

- |                   |                        |
|-------------------|------------------------|
| a. bentuk bulat,  | d. bentuk batang,      |
| b. bentuk cerutu, | e. bentuk huruf V, dan |
| c. bentuk koma,   | f. bentuk huruf L.     |

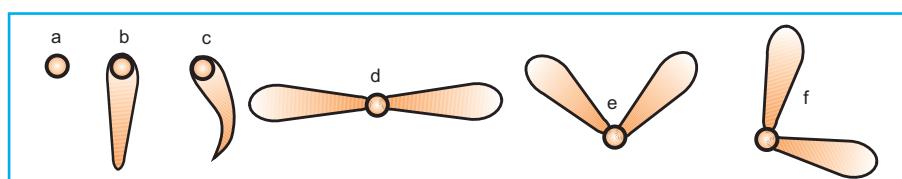
Bentuk-bentuk kromosom dapat Anda cermati pada Gambar 3.11.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 3.10**

Jenis kromosom

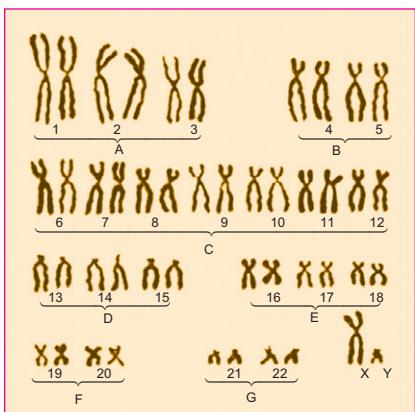


Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 3.11**

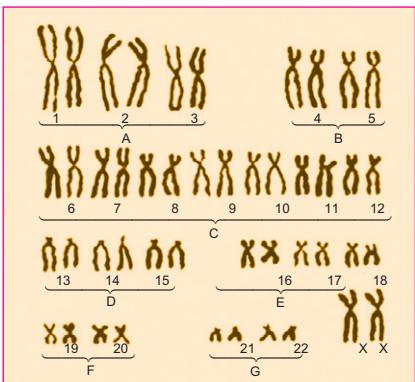
Bentuk kromosom

Pada setiap sel tubuh, kromosom selalu dalam keadaan berpasangan. Kromosom yang berpasangan mempunyai bentuk, ukuran, dan komposisi sama atau hampir sama



Sumber: *New Understanding Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Tooie

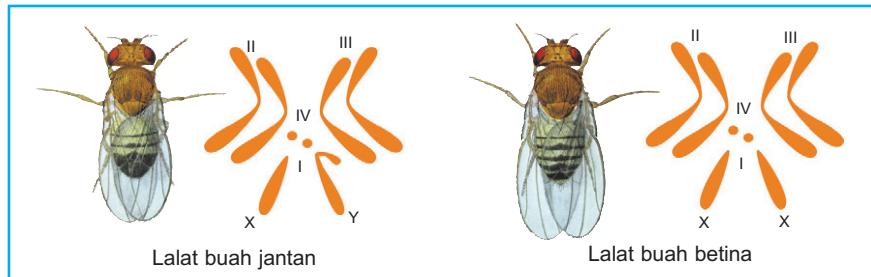
**Gambar 3.13**  
Kariogram laki-laki



Sumber: *New Understanding Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Tooie

**Gambar 3.14**  
Kariogram wanita

disebut **kromosom homolog** lihat Gambar 3.12. Pada setiap sel tubuh lalat buah terdapat 8 buah kromosom berarti terdapat 4 pasang kromosom homolog. Pada sel tubuh manusia terdapat 46 buah kromosom berarti terdapat 23 pasang kromosom homolog.



Sumber: *Genetika Manusia*, Suryo

**Gambar 3.12**  
Bentuk kromosom *Drosophila melanogaster*

Pengaturan kromosom secara standar berdasarkan panjang, jumlah, serta bentuk kromosom sel somatis disebut **kariotipe**. Sementara itu, hasil dari pengaturan kromosom disebut **kariogram**. Kariogram kromosom manusia dapat dilihat pada Gambar 3.13 dan Gambar 3.14.

Jumlah macam kromosom disebut **ploid** atau **set**, **perangkat** atau **genom**. Dalam sel tubuh setiap kromosom terdapat berpasangan, berarti terdiri 2 set sehingga disebut **diploid** ( $2n$ ). Sebaliknya, pada sel gamet satu sel kelamin memiliki kromosom tidak berpasangan, berarti terdapat satu set kromosom sehingga disebut **haploid**.

Kadang-kadang ditemukan individu yang memiliki kromosom lebih dari normal ( $2n$ ). Misalnya, terjadinya sel kanker karena jumlah kromosomnya melebihi dari jumlah normal ( $2n$ ). Apabila jumlah kromosomnya 3 set disebut **triploid** ( $3n$ ). Sementara itu, apabila jumlah kromosomnya 4 set disebut **tetraploid** ( $4n$ ). Apabila jumlah kromosomnya lebih dari 4 set disebut **poliploid**. Mengapa individu normal ( $2n$ ) dapat menjadi triploid ( $3n$ ), tetraploid ( $4n$ ) atau poliploid?

Pada dasarnya kromosom semua organisme mempunyai dua tipe, yaitu autosom dan kromosom kelamin (seks kromosom = gonosom).

- Autosom* merupakan kromosom yang tidak mempunyai hubungan dengan penentuan jenis kelamin.
- Kromosom kelamin* atau *seks kromosom* merupakan sepasang kromosom yang menentukan jenis kelamin. Ada dua macam seks kromosom, yaitu kromosom-X dan kromosom-Y.

Inti sel lalat buah mengandung 8 buah kromosom, terdiri 6 buah (3 pasang) autosom dan 2 buah (1 pasang) gonosom. Formula kromosom sel tubuh lalat buah jantan yaitu  $3\text{ AA} + \text{ XY}$  ( $6\text{ A} + \text{ XY}$ ), sedangkan formula kromosom sel tubuh lalat buah betina yaitu  $3\text{ AA} + \text{ XX}$  ( $6\text{ A} + \text{ XX}$ ).

Inti sel tubuh manusia mengandung 46 buah kromosom, terdiri atas 44 (22 pasang) autosom dan 2 (1 pasang) kromosom kelamin. Seorang perempuan memiliki 22 pasang autosom

dan 1 pasang kromosom-X sehingga formula kromosom untuk perempuan yaitu 22AA + XX atau ditulis 44A + XX atau 44,XX. Seorang laki-laki memiliki 22 pasang autosom + 1 kromosom-X + 1 kromosom-Y sehingga formula kromosom untuk orang laki-laki yaitu 22AA + XY atau ditulis 44A + XY atau 44,XY.



## Forum Diskusi



Gambar di atas merupakan gambar kromosom manusia yang belum tersusun. Susunlah kromosom-kromosom tersebut sehingga membentuk suatu kariotipe (bila perlu, perbesarlah ukuran gambar tersebut). Tentukanlah jenis kelamin orang tersebut.



## Uji Kompetensi B

Jawablah soal-soal berikut.

1. Bagaimanakah hubungan antara DNA, gen, dan kromosom dilihat dari letaknya?
2. Gambarkan struktur kromosom dan berilah keterangannya.

3. Gambarkan bentuk kromosom berdasarkan letak sentromernya (metasentris, submetasentris, akrosentris, dan telosentris).
4. Apa yang dimaksud kariotipe?
5. Sebutkan jenis kromosom berdasarkan jumlah sentromernya. Jelaskan cirinya.



## Rangkuman

1. DNA dan RNA terdiri atas, gula fosfat dan basa. DNA memiliki gula berupa deoksiribosa sedangkan komponen gula pada RNA berupa D-ribosa (pentosa). Basa nitrogen pada DNA yaitu adenin (A), guanin (G), timin (T), dan sitosin (C). RNA juga memiliki komponen basa yang sama kecuali Timin diganti dengan Urasil(U).

2. DNA berada dalam nukleus yang kadarnya tidak dipengaruhi oleh aktivitas sintesis protein. RNA juga ditemukan dalam nukleus, tetapi lebih banyak ditemukan dalam sitoplasma dan kadaranya dipengaruhi oleh aktivitas sintesis protein.
3. RNA sangat menentukan dalam sintesis protein, karena dapat membentuk mRNA, rRNA dan tRNA sehingga dapat melakukan proses transkripsi dan translasi pada waktu sintesis protein.

4. DNA, gen dan kromosom memiliki hubungan yang erat. Hal ini karena bagian rantai DNA yang dapat mengkode suatu polipeptida melalui proses transkripsi dan translasi disebut **gen**. Sementara itu, rangkaian DNA membentuk

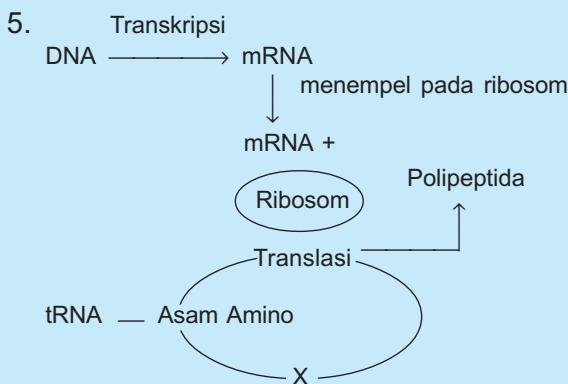
kromosom. Kromosom memiliki bentuk dan struktur yang berbeda-beda. Setiap jenis organisme memiliki jumlah kromosom yang berbeda-beda.



## Evaluasi

A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.

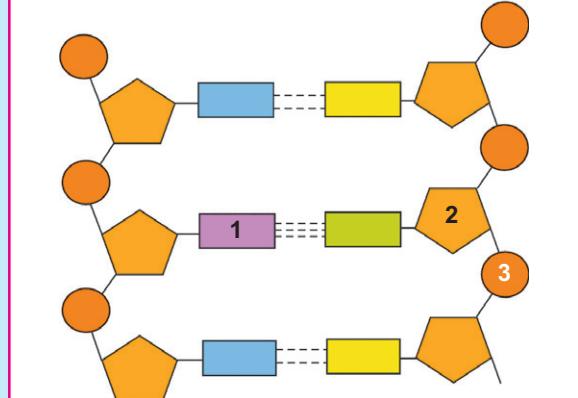
1. Pada struktur "double helix" DNA, kedua basa N berpasangan dengan ikatan . . .
  - a. nitrogen
  - b. hidrogen
  - c. fosfat
  - d. kromosom
  - e. gen
2. Pasangan basa N adenin pada mRNA yaitu . . .
  - a. urasil (U)
  - b. guanin (G)
  - c. adenin (A)
  - d. sitosin (S)
  - e. timin (T)
3. Hampir semua sel pada suatu hewan mengandung gen-gen yang sama. Sel-sel tersebut mempunyai struktur dan fungsi yang berbeda karena perbedaan dari sintesis molekul . . .
  - a. tRNA
  - b. mRNA
  - c. histon
  - d. ribosom
  - e. rRNA
4. Secara garis besar langkah pencetakan protein terjadi melalui 2 tahap yaitu . . .
  - a. replikasi dan sintesis
  - b. translasi dan replikasi
  - c. transkripsi dan translasi
  - d. sintesis dan replikasi
  - e. sintesis dan translasi



Dari diagram sintesis protein di atas, yang berlabel X merupakan . . .

- a. RNA
  - b. mRNA
  - c. rRNA
  - d. tRNA
  - e. DNA
6. Rantai RNA yang "mencetak" mRNA disebut rantai . . .
    - a. polimerase
    - b. antisense
    - c. sense
    - d. peptida
    - e. polipeptida
  7. Kodon yang diperlukan untuk mengakhiri sintesis polipeptida yaitu . . .
    - a. AUG
    - b. UAG
    - c. USG
    - d. SGA
    - e. AAU

8.



Berdasarkan gambar nukleotida, komponen penyusun nukleotida nomor 1, 2, dan 3 secara berurutan merupakan . . .

- a. gula, basa, dan fosfat
  - b. basa, gula, dan fosfat
  - c. basa, fosfat, dan gula
  - d. fosfat, basa, dan gula
  - e. gula, fosfat, dan basa
9. Poli-U yang dimasukkan ke dalam campuran berbagai asam amino akan terbentuk rangkaian . . .
    - a. prolin
    - b. tirosin
    - c. glisin
    - d. lisin
    - e. fenilalanin

10. Tiga basa yang mensintesis suatu asam amino pada mRNA disebut ....
- singlet
  - dublet
  - triplet
  - kodon
  - reduant

Bacalah pernyataan di bawah ini untuk menjawab soal nomor 11 dan 12.

Di bawah ini beberapa fungsi DNA.

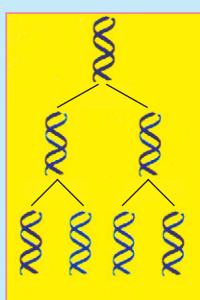
- Membawa informasi genetik.
- Mengontrol aktivitas sel.
- Berperan dalam pembentuk RNA.
- Berperan dalam proses sintesis protein.
- Melakukan replikasi membentuk DNA baru.

11. DNA yang berfungsi sebagai heterokatalitik terdapat pada ....
- 1)
  - 2)
  - 3)
  - 4)
  - 5)

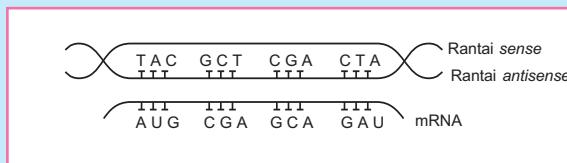
12. Fungsi DNA yang berkaitan dengan penentuan pola hereditas terdapat pada pernyataan ....
- 1)
  - 2)
  - 3)
  - 4)
  - 5)

13. DNA dapat menduplikasi diri melalui proses replikasi sehingga DNA berfungsi sebagai ....
- heterokatalitik
  - otokatalitik
  - pengontrol aktivitas pembelahan sel
  - pembentuk protein
  - pengendali metabolisme sel

14. Perhatikan gambar di samping. Replikasi tersebut sesuai dengan hipotesis ....
- konservatif
  - dispersif
  - semikonservatif
  - semidispersif
  - dispersif-konservatif



15. Perhatikan proses transkripsi DNA berikut.



Proses tersebut terjadi dengan bantuan enzim ....

- polimerase
- ligase
- nukleotidase
- helikase
- nuklease

Bacalah pernyataan-pernyataan berikut untuk mengerjakan soal nomor 16 dan 17.

- Hanya ditemukan dalam nukleus, yaitu dalam kromosom, mitokondria, dan kloroplas.
- Berupa rantai pendek dan tunggal.
- Terdapat dalam sitoplasma, terutama dalam ribosom dan nukleus.
- Rantai panjang dan ganda.
- Kadarnya tidak dipengaruhi sintesis protein.
- Kadarnya dipengaruhi sintesis protein.

16. Ciri-ciri DNA terdapat pada nomor ....
- 1), 2), dan 3)
  - 1), 2), dan 4)
  - 1), 4), dan 5)
  - 2), 3), dan 6)
  - 3), 5), dan 6)

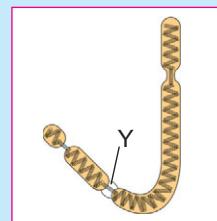
17. Ciri-ciri RNA terdapat pada nomor ....
- 1), 2), dan 3)
  - 1), 2), dan 4)
  - 1), 4), dan 5)
  - 2), 3), dan 6)
  - 3), 5), dan 6)

18. Aku adalah bagian basa N pada tRNA yang menerjemahkan kode yang dibawa mRNA. Siapakah aku?

- sense
- antisense
- ribosomal RNA
- antikodon
- kodon

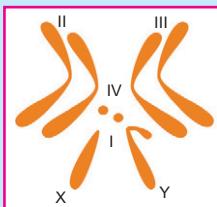
19. Pernyataan yang sesuai dengan bagian gambar yang ditunjuk yaitu ...

- Telomer: menghalangi perlekatan dengan kromosom lain.
- Satelit: pusat aktivitas kromosom.
- Sentromer: tempat melekatnya spindel.
- Kromonema: bagian kromosom yang tidak mengandung DNA.
- Kromomer: penebalan pada kromonema.



20. Perhatikan gambar kromosom lalat buah di samping. Formula kromosom yang benar sesuai gambar tersebut yaitu ....

- 3 A + X
- 3 AA + XX
- 3 AA + XY
- 3 XY + AA
- 3 XX + A



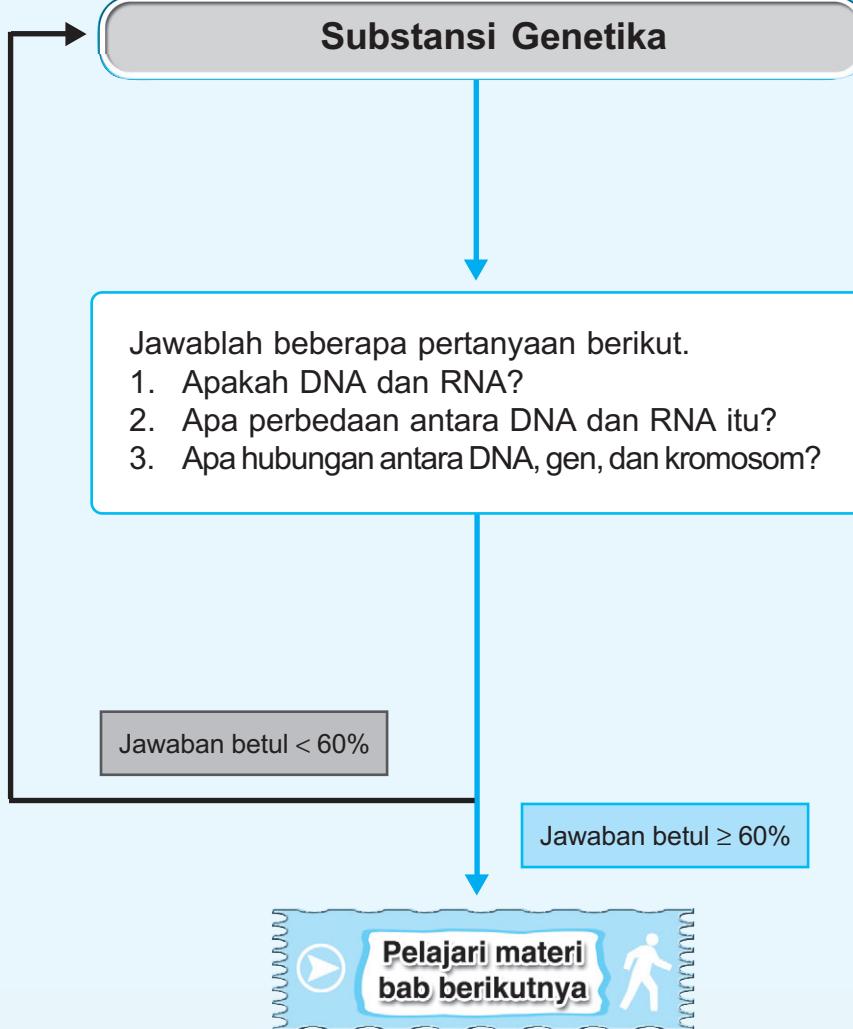
B. Jawablah soal-soal berikut.

1. Jelaskan beberapa pengertian berikut.
  - a. kodon
  - b. struktur "double helix"
  - c. rantai sense
  - d. rantai antisense
2. Jelaskan perbedaan struktur kimia DNA dengan RNA.
3. Sebutkan dan jelaskan 3 hipotesis tentang replikasi DNA.
4. Jelaskan tahap-tahap sintesis protein.
5. Mengapa DNA memiliki kemampuan melakukan transkripsi membentuk mRNA? Jelaskan.

C. Berpikir kritis.

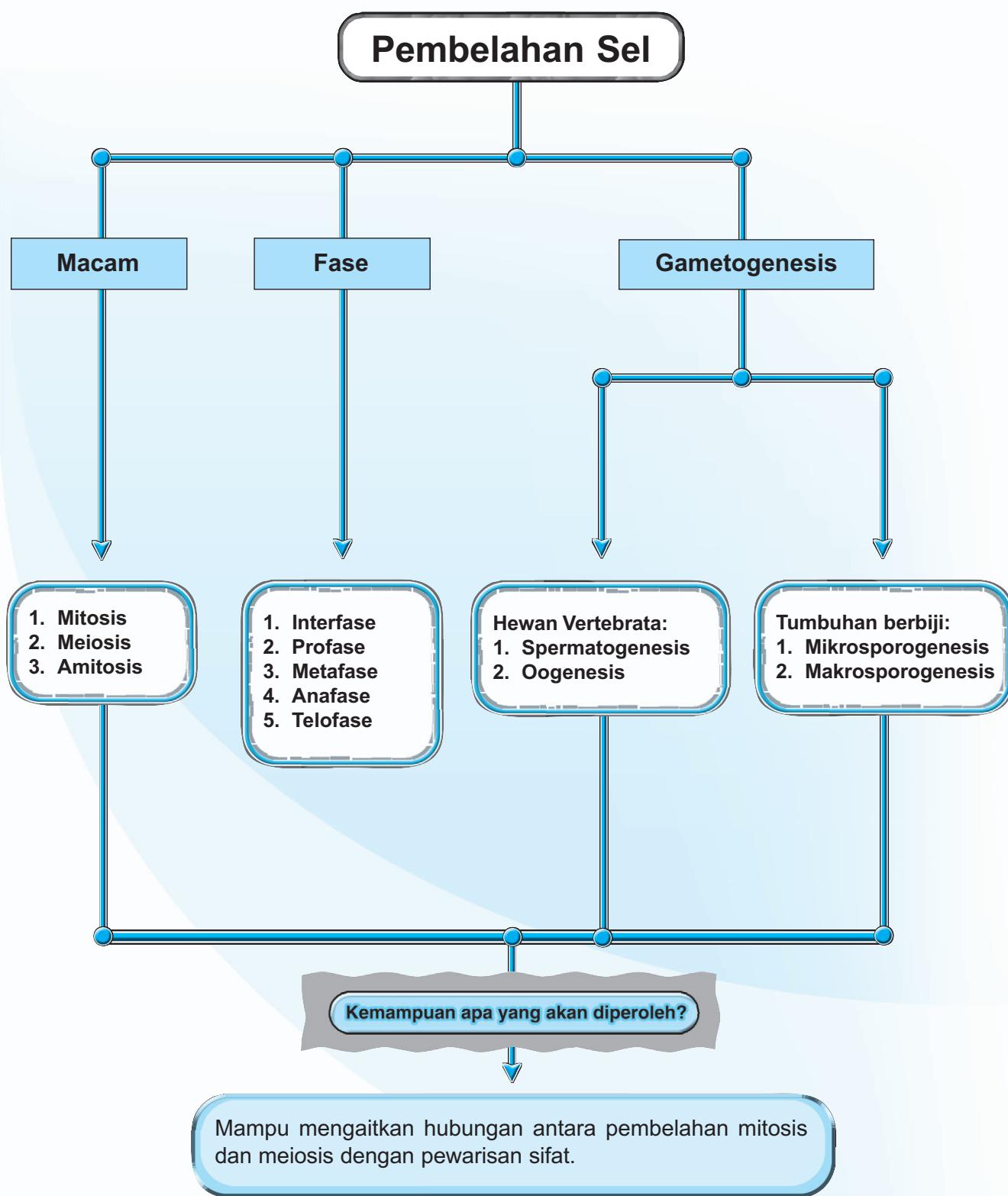
Sekitar tahun 80-an, terjadi peristiwa perburuan bayi yang dikenal dengan "Cipluk dan Dewi". Dua orang tua yang melahirkan di rumah sakit dalam waktu yang bersamaan mengakui bahwa Dewi anak mereka. Siapa sebenarnya orang tua Dewi dan siapa orang tua Cipluk? Sebenarnya kita dapat segera mengetahui kepastian mengenai orang tua mereka yang sebenarnya dengan kemajuan teknologi seperti sekarang. Bagaimana caranya?

### Refleksi



# Bab IV

## Pembelahan Sel





## Selasar



Sumber: Mesin Tubuh Manusia, Tira Pustaka

Setiap manusia yang pernah dilahirkan memulai kehidupannya dalam bentuk satu sel tunggal. Ini semua karena kekuasaan Tuhan yang Maha Esa. Kita yang semula hanya zigot (satu sel) kemudian tumbuh dan berkembang menjadi embrio, bayi, dan dewasa seperti keadaan kita saat ini. Proses tumbuh dan berkembang tidak dapat lepas dari aktivitas pembelahan sel yang terjadi di dalam tubuh kita.

Pada bab ini Anda akan mempelajari proses-proses yang terjadi dalam pembelahan sel baik secara mitosis, meiosis, atau amitosis. Pada bab ini Anda juga dapat mempelajari serta arti penting pembelahan tersebut bagi makhluk hidup. Setelah mempelajari bab ini Anda dapat mengaitkan hubungan antara pembelahan mitosis dan meiosis dengan pewarisan sifat.

### Kata Kunci

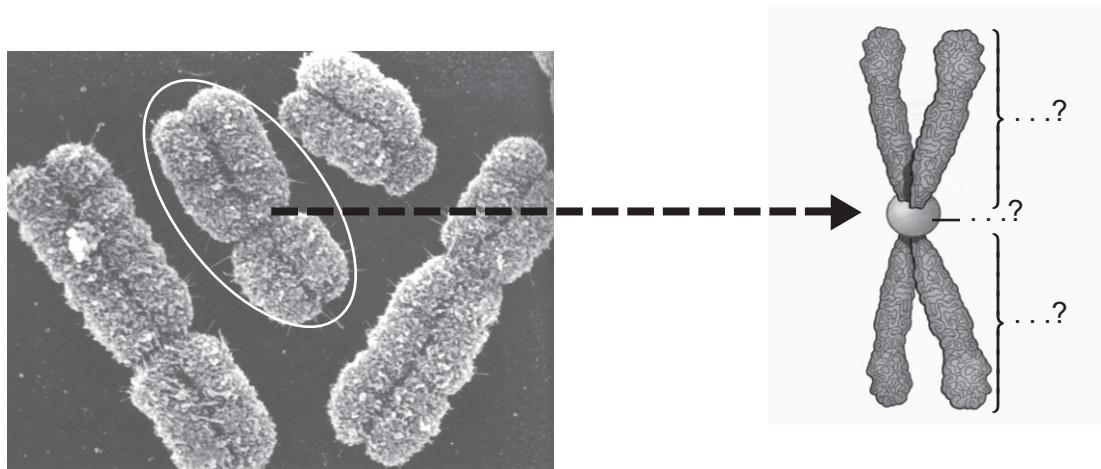
nukleus  
kromosom  
kromatin  
mitosis  
meiosis  
spermatogenesis  
oogenesis  
mikrosporogenesis  
makrosporogenesis  
ovulus

Pertumbuhan dan perkembangan serta reproduksi makhluk hidup tidak dapat lepas dari aktivitas pembelahan sel. Menurut teori sel modern, semua sel berasal dari sel-sel yang telah ada melalui proses pembelahan sel. Sekitar  $10^{14}$  sel yang menyusun tubuh manusia berasal dari pembelahan sel zigot (satu sel) yang merupakan peleburan 2 sel gamet. Sel-sel gamet ini berasal dari proses pembelahan sel-sel parental tertentu. Pada dasarnya pembelahan sel ada tiga macam, yaitu pembelahan amitosis, mitosis, dan meiosis. Apakah perbedaan pembelahan amitosis, mitosis, dan meiosis? Marilah kita pelajari dalam materi berikut ini.

## A. Pembelahan Mitosis, Meiosis, dan Amitosis

Pada tubuh kita dapat ditemukan sel-sel tubuh (sel somatis) dan sel-sel kelamin (sel gamet). Sel tubuh maupun sel kelamin terbentuk melalui proses pembelahan sel. Pembelahan sel terkait erat dengan kromosom. Oleh karena itu, marilah kita tinjau kembali mengenai kromosom.

Pada bab sebelumnya Anda telah mengenal substansi genetik. Perhatikan Gambar 4.1 untuk mengingat kembali tentang kromosom. Apakah nama bagian-bagian kromosom yang ditunjuk pada gambar? Coba diskusikan dengan teman sebangku Anda.



Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Tooole

Gambar 4.1

Struktur kromosom

Kromosom tidak terlihat jika sel tidak membelah atau sel dalam keadaan istirahat. Namun, materi kromosom terlihat dengan jelas saat membelah, khususnya dengan pewarnaan inti. Bagian kromosom yang berwarna ini dinamakan **kromatin**. Kromatin berbentuk benang dengan panjang antara 0,25–50 mm. Setiap kromosom tampak seperti dua kumpulan benang yang disebut **kromatid** dan dihubungkan oleh **sentromer**. Coba perhatikan sekali lagi gambar kromosom di atas.

Ukuran dan jumlah kromosom setiap spesies makhluk hidup berbeda. Namun, setiap individu dalam satu spesies mempunyai jumlah kromosom sama. Perhatikan jumlah kromosom beberapa spesies dalam Tabel 4.1 berikut.

**Tabel 4.1** Jumlah Kromosom pada Beberapa Spesies

Spesies	Jumlah Kromosom
Cacing tanah tertentu	2
Lalat buah ( <i>Drosophila melanogaster</i> )	8
Bawang ( <i>Allium cepa</i> )	16
Jagung ( <i>Zea mays</i> )	20
Bunga lili ( <i>Lilium longiforum</i> )	24
Tomat ( <i>Lycopersicon esculentum</i> )	24
Kucing ( <i>Felis catus</i> )	38
Mencit ( <i>Mus musculus</i> )	40
Manusia ( <i>Homo sapiens</i> )	46
Kentang ( <i>Solanum tuberosum</i> )	48
Kuda ( <i>Equus salabus</i> )	64
Anjing ( <i>Canis familiaris</i> )	78
Protozoa tertentu	> 300

Meskipun jumlah kromosom bervariasi dari 2–300, tetapi kebanyakan organisme memiliki 10–40 kromosom. Bahkan lebih dari sejuta spesies berbeda yang hidup di muka bumi kebanyakan memiliki 24 kromosom.

## 1. Pembelahan Mitosis

Hampir semua materi di alam mempunyai siklus. Tentu Anda tidak secara tiba-tiba menjadi dewasa, bukan? Ada tahapan yang pasti dilalui. Terlahir menjadi bayi, anak-anak, kemudian tumbuh dewasa. Keadaan demikian dapat disebut sebagai siklus hidup. Sel sebagai penyusun makhluk hidup juga mempunyai siklus. Pada siklus sel dapat dibedakan menjadi 2 bagian pokok, yaitu **interfase** dan **mitosis**. Perhatikan Gambar 4.2.

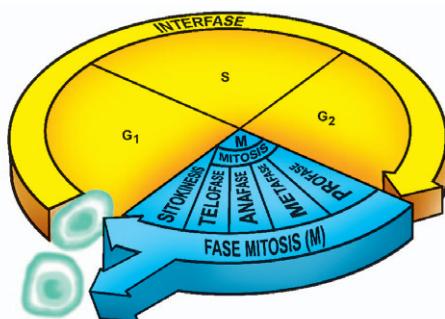
### a. Interfase

Saat interfase, dalam sel terjadi peningkatan aktivitas kimiawi. Pada fase ini jumlah DNA menjadi dua kali lipat. Interfase dibedakan menjadi tiga tahapan, yaitu fase pertumbuhan pertama ( $G_1$ ), fase sintesis (S), dan fase pertumbuhan kedua ( $G_2$ ).

Pada fase pertumbuhan pertama ( $G_1$ ) terjadi pembentukan organel-organel sel dan sel tumbuh dengan cepat. Pada fase sintesis (S) ditandai dengan adanya replikasi (penggandaan) DNA. Pada tahap akhir interfase, yaitu fase pertumbuhan kedua ( $G_2$ ) terjadi replikasi **sentriol** dan peningkatan energi cadangan.

### b. Pembelahan Mitosis

Pembelahan mitosis meliputi dua proses pembelahan yang berurutan, yaitu kariokinesis dan sitokinesis. **Kariokinesis** merupakan pembelahan suatu inti menjadi dua, sedangkan **sitokinesis** merupakan pembelahan suatu sel menjadi dua sel anakan yang masing-masing mengandung inti sel. Pembelahan mitosis berlangsung dalam empat tahap, yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase. Apa yang terjadi dalam tiap-tiap fase pembelahan itu?



Sumber: Biology, Campbell

**Gambar 4.2**

Siklus sel

## 1) Profase

Gambar 4.3 menunjukkan tahap profase. Pada tahap awal fase ini, dalam sel terjadi beberapa hal berikut.

- Benang-benang kromatin yang terdapat dalam inti sel berkondensasi membentuk kromosom.
- Membran inti larut yang diikuti dengan menghilangnya anak inti (nukleolus).
- Kromosom menduplikasi diri menjadi sepasang kromatid.
- Sentriol membelah dan bergerak ke arah kutub yang berlawanan. Di sekitar sentriol terbentuk benang-benang pembelahan (spindel) sehingga menyerupai bentuk bintang yang disebut **aster**. Pada tahap selanjutnya spindel yang menghubungkan kromosom dengan kutub sel melalui sentromer, ada pula yang menghubungkan antarkutub sel.

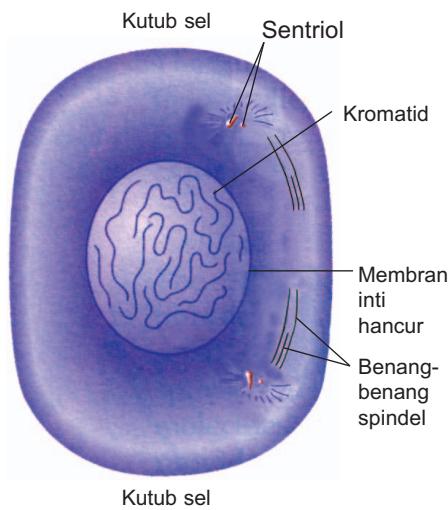
### Catatan:

Sentriol hanya terbentuk pada sel hewan dan tidak terbentuk pada sel tumbuhan.

## 2) Metafase

Metafase merupakan stadium lebih lanjut dari profase. Lihat Gambar 4.4. Metafase ditandai dengan beberapa peristiwa berikut.

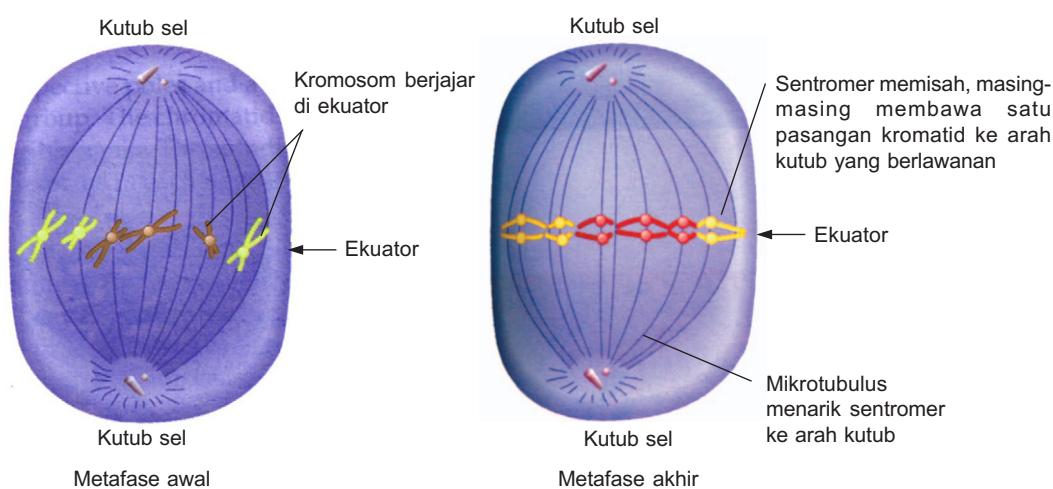
- Benang-benang spindel terlihat makin jelas. Benang-benang itu mengikat sentromer dari setiap kromosom.
- Kromosom mengatur diri di tengah-tengah antara dua kutub sel atau biasa disebut **bidang ekuatorial**. Biasanya kromosom berbentuk seperti huruf V.



Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Tooole

**Gambar 4.3**

Profase



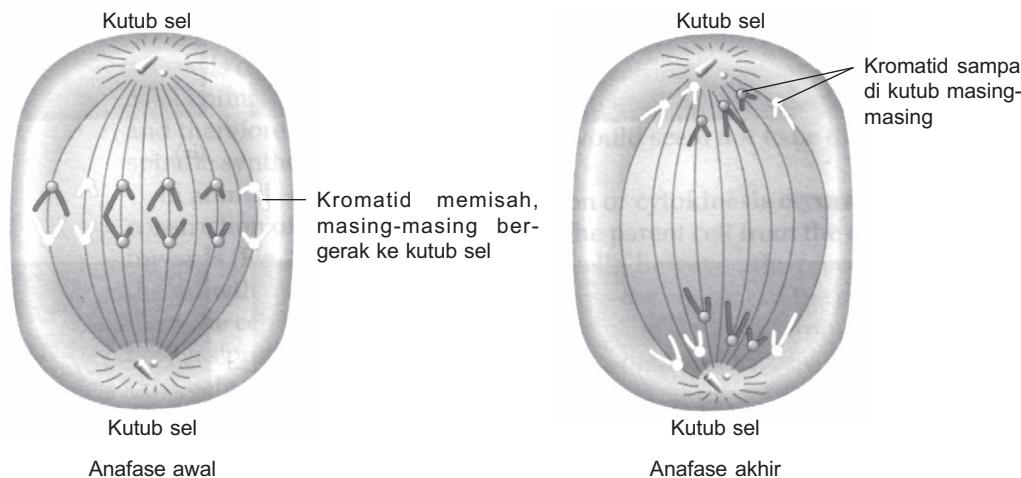
Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Tooole

**Gambar 4.4**

Metafase

### 3) Anafase

- Fase ini ditandai dengan peristiwa-peristiwa berikut.
- Kromatid memisah satu sama lain. Tiap-tiap kromatid tersebut mengandung sentromer.
  - Benang-benang spindel memendek sehingga kromatid-kromatid itu tertarik dan bergerak menuju kutub yang berlawanan. Lihat Gambar 4.5.



Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Tooie

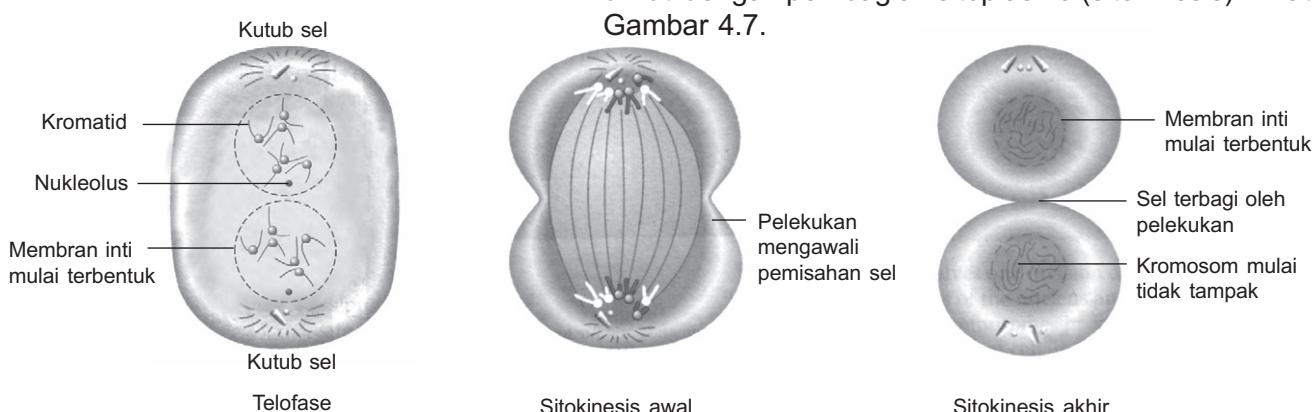
Gambar 4.5

Anafase

### 4) Telofase

Telofase merupakan tahap terakhir pembelahan inti (kariokinesis). Adapun tanda-tanda stadium ini sebagai berikut.

- Setelah kromatid-kromatid sampai di masing-masing kutub, bentuk kromatid itu menjadi kompak.
- Membran inti mulai terbentuk dan melingkupi kelompok kromatid pada masing-masing kutub.
- Kromatid menjadi samar-samar dan anak inti (nukleolus) pun mulai timbul. Lihat Gambar 4.6.
- Aster menghilang dan terjadi penebalan sitoplasma yang diikuti dengan pembagian sitoplasma (sitokinesis). Lihat Gambar 4.7.



Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Tooie

Gambar 4.6

Telofase

Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Tooie

Gambar 4.7

Sitokinesis

Lakukanlah eksperimen berikut agar Anda dapat mengamati langsung terjadinya pembelahan mitosis.



## Eksperimen

### Mengamati Pembelahan Mitosis

1. Persiapkan mikroskop, larutan gliserin, akar bawang merah, gelas benda, dan gelas penutup.
2. Ambillah ujung akar bawang merah ±3 mm dari ujung, kemudian letakkan di atas gelas benda. Tetesi dengan larutan gliserin, kemudian tutuplah dengan gelas penutup. Tekanlah gelas penutup dengan pensil hingga ujung akar hancur.
3. Lakukan pengamatan dengan mikroskop terhadap preparat tersebut. Sebelum pengamatan ini dilakukan, sebaiknya siapkan

terlebih dulu gambar-gambar tentang pembelahan mitosis.

#### Catatan:

Sebaiknya pengambilan ujung akar bawang merah dilakukan dari jam 8.00–9.00.

#### Pertanyaan:

1. Tahap pembelahan apakah yang paling jelas terlihat? Jelaskan ciri-ciri fase pembelahan tersebut.
2. Berapa lama tahap pembelahan di atas dapat diamati?

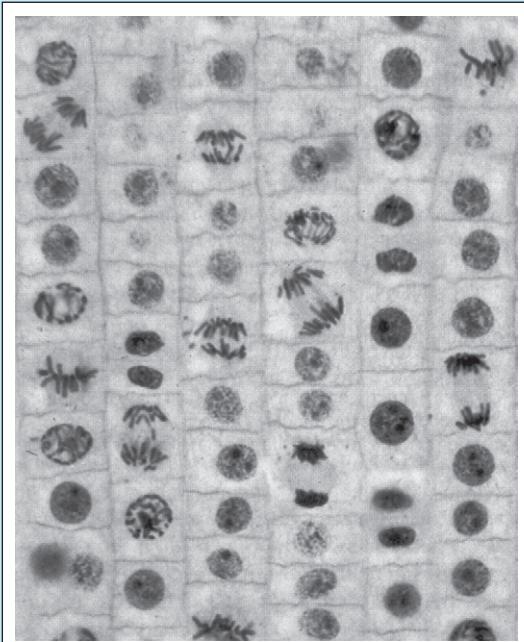
Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan presentasikan di kelas.

Mungkin Anda belum dapat mengamati setiap tahapan pembelahan mitosis dalam eksperimen di atas. Oleh karena itu, lakukan kegiatan berikut, untuk mengidentifikasi tahap-tahap pembelahan mitosis.

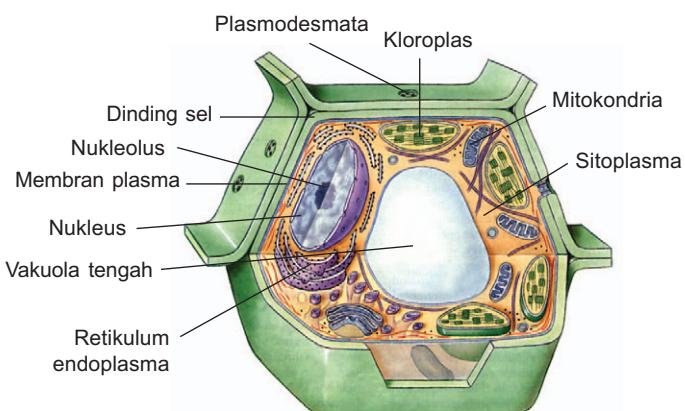


## Forum Diskusi

Baca kembali ciri-ciri setiap tahap pembelahan mitosis dalam materi di depan. Selanjutnya, cermati rangkaian gambar pembelahan mitosis pada akar bawang merah di bawah ini. Bersama kelompok Anda, identifikasilah tiap tahapan mitosis yang tampak pada gambar tersebut. Setelah itu, presentasikan hasil diskusi kelompok Anda di depan kelas.

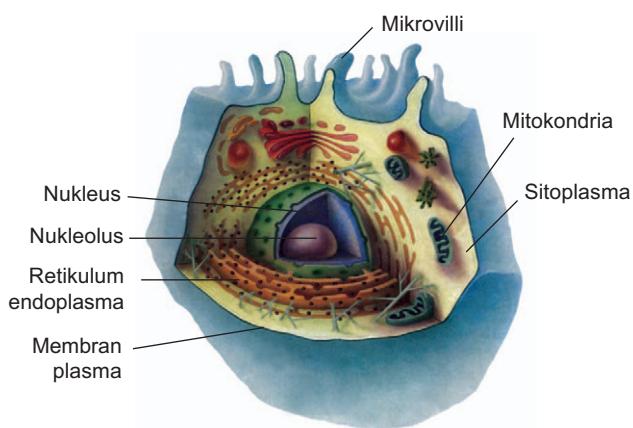


Samakah proses pembelahan sel hewan dengan sel tumbuhan? Sebelum menjawab pertanyaan ini, coba perhatikan gambar sel hewan (Gambar 4.8) dan sel tumbuhan berikut (Gambar 4.9).



Sumber: Biology, Raven dan Johnson

**Gambar 4.8**  
Sel tumbuhan

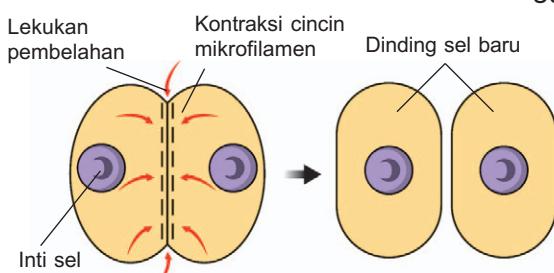


Sumber: Biology, Raven dan Johnson

**Gambar 4.9**  
Sel hewan

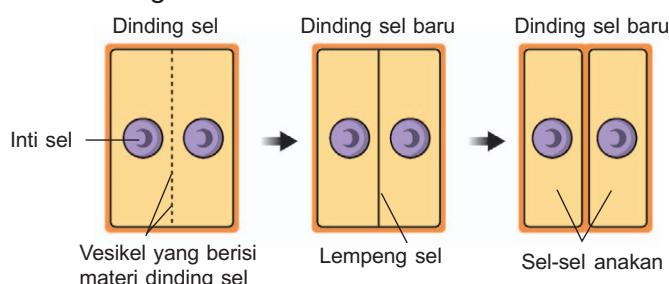
Perhatikan dengan cermat organel-organel pada kedua jenis sel tersebut. Selanjutnya tunjukkan perbedaan antara sel hewan dengan sel tumbuhan. Coba diskusikan dengan teman sebangku Anda.

Pada sel hewan, sitokinesis terjadi melalui pengerutan pada tengah-tengah sel induk dari luar ke dalam (Gambar 4.10). Namun, pada sel tumbuhan proses pembelahan terjadi dengan terbentuknya dinding pemisah yang melintang bidang ekuator pada sel induk dari tengah ke tepi (sebelah luar). Lihat Gambar 4.11. Lempeng itu dibentuk dari fusi gelembung-gelembung yang dihasilkan oleh *diktiosom*. Selanjutnya, pada lempeng tersebut diletakkan *selulosa* sehingga terbentuk dinding sel.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 4.10**  
Pembelahan sel hewan



Sumber: Dokumentasi Penerbit

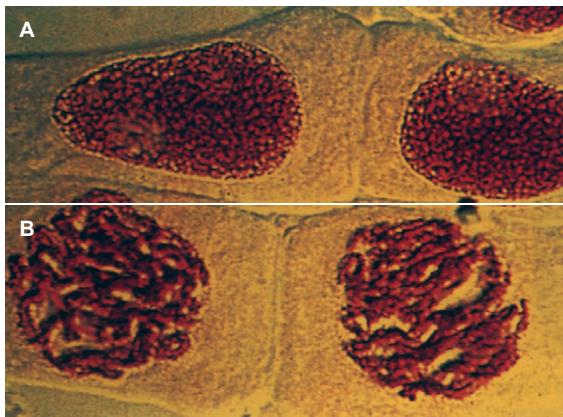
**Gambar 4.11**  
Pembentukan dinding sel tumbuhan

Secara singkat perbedaan pembelahan mitosis pada sel hewan dengan tumbuhan dijelaskan dalam Tabel 4.2 berikut.

**Tabel 4.2 Perbedaan Pembelahan Mitosis pada Sel Hewan dan Tumbuhan**

No.	Sel Hewan	Sel Tumbuhan
1.	Memiliki sentriol.	Tidak memiliki sentriol, kecuali sel tumbuhan tingkat rendah.
2.	Bidang pembelahan tidak ada.	Membentuk bidang pembelahan.
3.	Plasma membran mengganting ke dalam diikuti pembagian sitoplasma (sitokinesis).	Tidak ada penggantingan plasma membran tetapi membentuk bidang pembelahan.
4.	Terjadi pada sel tubuh yang bersifat embrionik.	Terjadi pada sel meristem.

Perhatikan foto tahapan mitosis pada sel tumbuhan berikut (Gambar 4.12) agar Anda lebih memahami gambaran mitosis secara nyata.



A. Interfase  
B. Profase



Metafase awal  
Kromosom mulai tampak



Metafase akhir  
Kromosom berjajar di bidang ekuator



Anafase awal  
Kromatid bergerak ke kutub yang berlawanan



Anafase akhir  
Kromatid sampai di setiap kutub



Telofase  
Anakan nukleus terbentuk ke kutub yang berlawanan

Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Toole

#### Gambar 4.12

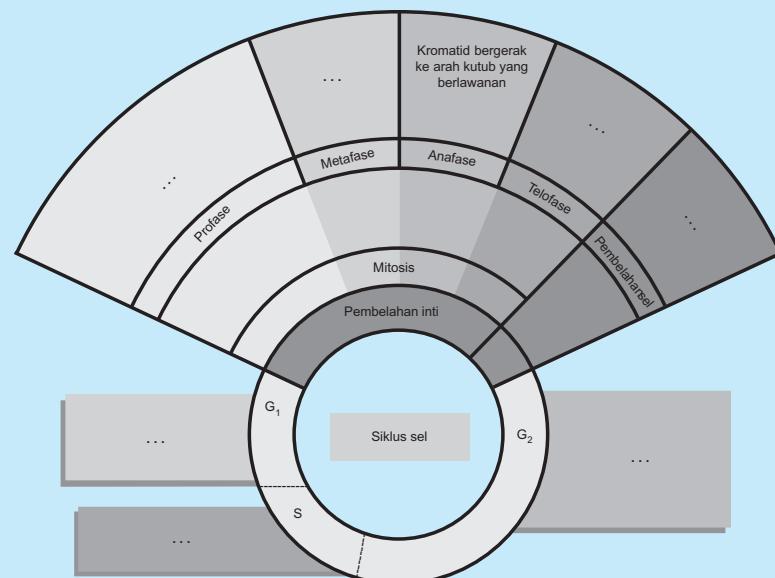
Tahap-tahap mitosis pada sel tumbuhan

Apa arti penting mitosis bagi makhluk hidup? Mitosis menghasilkan sel anak yang sama persis dengan sel induknya. Keadaan ini sangat penting untuk pertumbuhan, perbaikan jaringan, dan reproduksi aseksual.

Buatlah skema berikut secara kelompok agar Anda lebih mudah mempelajari materi mitosis

### Tugas Kelompok

- Siapkan kertas manila berukuran 60 cm × 80 cm, penggaris, pensil, dan spidol warna.
- Buatlah bagan berikut, lengkap dengan penjelasannya.



- Kumpulkan hasil tugas Anda kepada bapak dan ibu guru.

## 2. Pembelahan Meiosis (Pembelahan Reduksi)

Meiosis atau pembelahan reduksi adalah pembelahan sel yang menghasilkan sel anak dengan jumlah kromosom setengah jumlah kromosom sel induk. Pembelahan meiosis sangat penting bagi organisme yang berkembang biak secara seksual, yaitu dalam proses pembentukan gamet (gametogenesis).

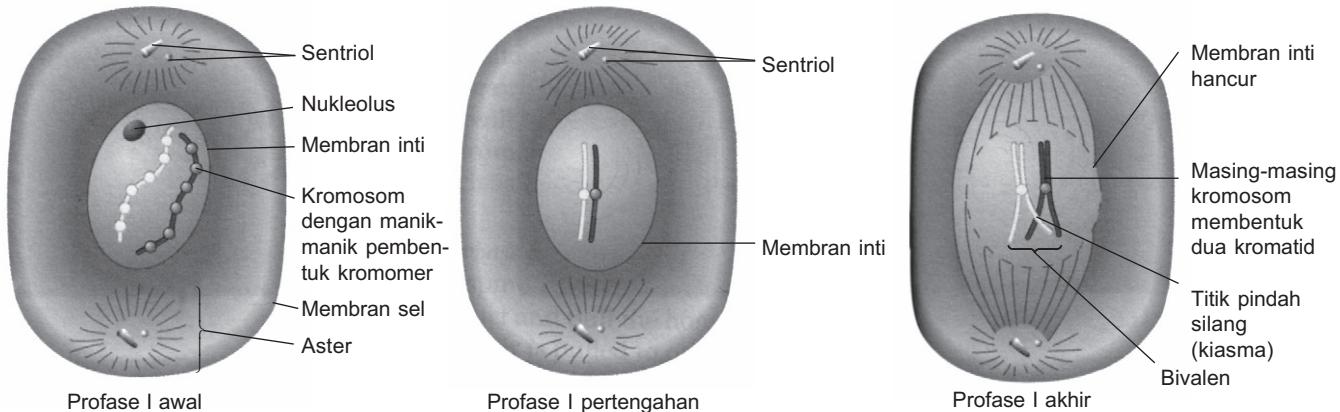
Pembelahan meiosis berlangsung dalam dua tahap pembelahan, yaitu meiosis I dan meiosis II. Pada meiosis I terjadi reduksi (pengurangan) jumlah kromosom, sedangkan pada meiosis II terjadi proses sama dengan pembelahan mitosis. Apa perbedaan meiosis I dengan meiosis II?

### a. Meiosis I

Meiosis I terdiri atas empat tahap yaitu profase I, metaphase I, anafase I, dan telofase I. Pada awal meiosis I, nukleus membesar sehingga penyerapan air dari sitoplasma oleh inti mencapai 3 kali lipat. Berikut akan dibahas tahap pembelahan meiosis pada sel hewan yang memiliki dua kromosom atau sepasang kromosom homolog.

## 1) Profase I

Profase I terdiri atas beberapa tahap berikut. Perhatikan Gambar 4.13.



Sumber: Biology for Advanced Level, Glenn and Susan Toole

Gambar 4.13

Profase

- Leptonema (Leptoten)**  
Terlihat benang-benang halus di bagian inti sel dan mulai terbentuk kromosom.
- Zigonema (Zigoten)**
  - Pembentukan kembaran kromosom (*geminus*).
  - Kromosom homolog yang berpasangan disebut **bivalen**, sedangkan peristiwa berpasangannya antarkromosom homolog dinamakan **sinapsis**.
- Pakinema (Pakiten)**  
Geminus (kembaran kromosom) terbentuk secara sempurna.
- Diplonema (Diploten)**
  - Kromosom membelah membujur sehingga setiap kelompok sinapsis terbentuk empat kromatid dan letaknya saling menjauh. Namun, pada titik-titik tertentu masih ada hubungan disebut **kiasma**. Adanya kiasma ini memungkinkan terjadinya pindah silang (*crossing over*).
  - Pasangan kromosom homolog memisahkan diri.
- Diakinesis**
  - Kromosom makin tebal.
  - Geminus menyebar di sepanjang inti.

## 2) Metafase I

Pada metafase I terjadi tahap-tahap berikut ini (Gambar 4.14).

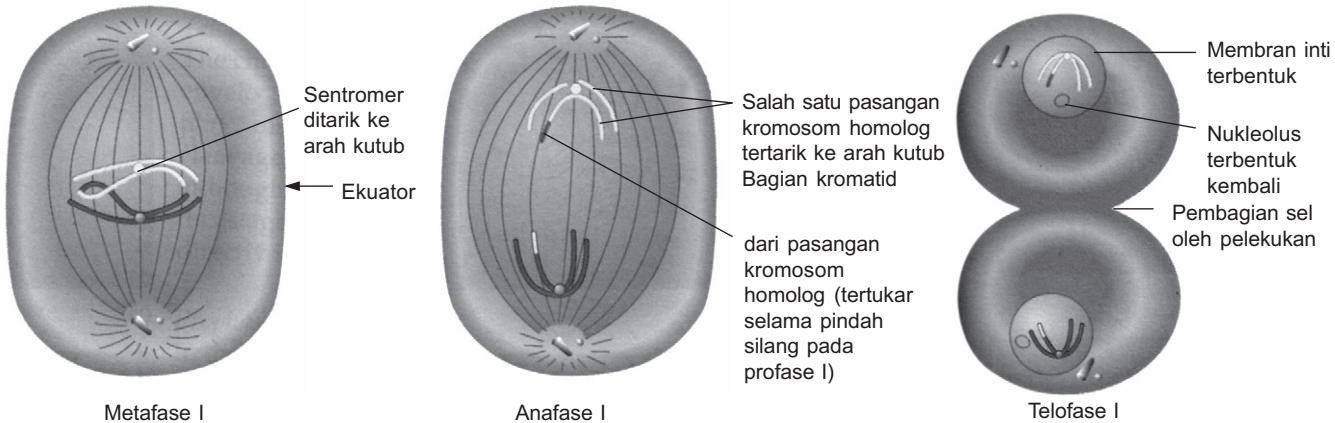
- Dinding inti dan nukleolus (anak inti) menghilang.
- Terbentuk benang-benang spindel.
- Kromosom homolog (geminus) bergerak ke bidang ekuator dengan sentromer mengarah ke kutub.

Apa perbedaan metafase dari mitosis dengan metafase I dari meiosis?



### 3) Anafase I

Kromosom homolog berpisah dan bergerak ke kutub berlawanan tanpa pemisahan sentromer (Gambar 4.14).



Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Toole

Gambar 4.14

Tahap Metafase I, anafase I, dan telofase I

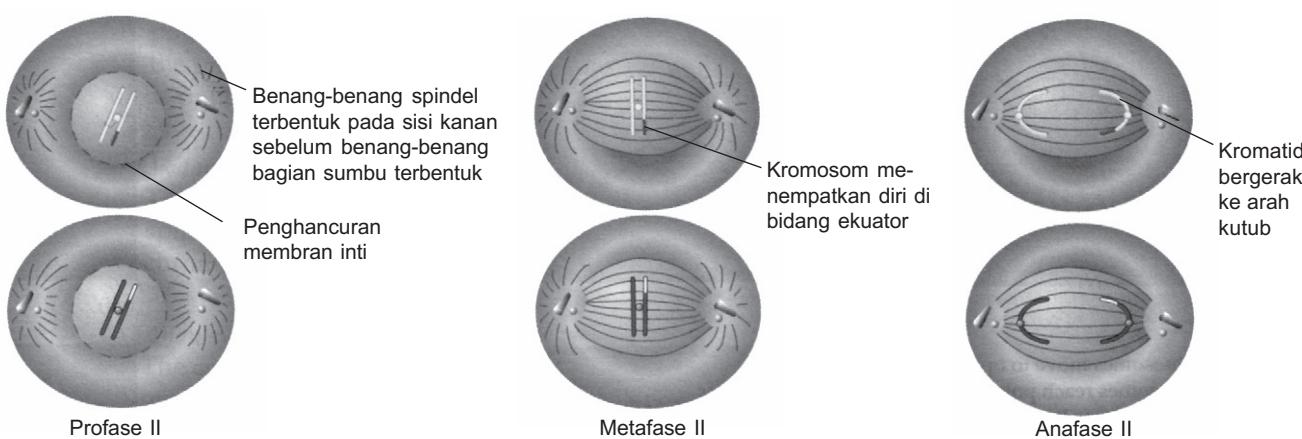
### 4) Telofase I

Pada telofase I terjadi tahap-tahap berikut ini (Gambar 4.14).

- Retikulum endoplasma membentuk membran inti di sekitar kelompok kromosom yang telah sampai di kutub pembelahan.
- Membran inti dan anak inti (nukleolus) kembali terbentuk.
- Pembentukan membran plasma untuk memisahkan sel anakan.
- Terbentuk 2 sel anakan yang haploid ( $n$ ).

#### b. Meiosis II

Pada pembelahan tahap kedua ini (meiosis II) berlangsung seperti mitosis, tetapi sel-selnya bersifat haploid ( $n$ ). Meiosis II juga berlangsung dalam empat tahap pembelahan, yaitu profase II, metaphase II, anafase II, dan telofase II. Perhatikan Gambar 4.15 dan 4.16.



Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Toole

Gambar 4.15

Tahap profase II, metaphase II, dan anafase II

### 1) Profase II

Peristiwa yang terjadi sebagai berikut.

- a) Pembelahan dua buah sentriol menjadi dua pasang sentriol baru.
- b) Setiap pasang sentriol bermigrasi ke arah kutub yang berlawanan.
- c) Mikrotubul membentuk spindel dan membran inti.
- d) Nukleus lenyap, kromosom berubah menjadi kromatid.

Apa persamaan tahap metaphase II dengan tahap metaphase dari mitosis?



### 2) Metafase II

Peristiwa yang terjadi sebagai berikut.

- a) Spindel menghubungkan sentromer dengan kutub pembelahan.
- b) Kromatid tertarik ke bidang ekuator.

### 3) Anafase II

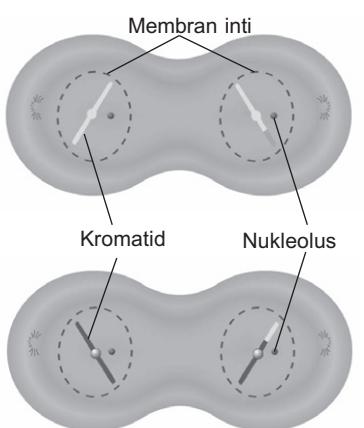
Peristiwa yang terjadi sebagai berikut.

- a) Seluruh isi sel serta benang-benang spindel dari gelendong bertambah panjang. Bersamaan dengan itu sentromer pembelah menjadi dua.
- b) Kromatid yang berpasangan saling berpisah dan masing-masing kromatid bergerak ke arah kutub yang berlawanan.

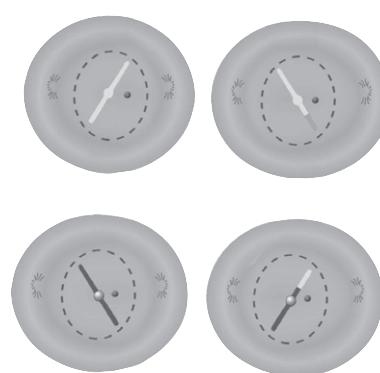
### 4) Telofase II

Peristiwa yang terjadi sebagai berikut.

- a) Benang-benang kromatid yang telah sampai di kutub berubah menjadi benang-benang kromatin.
- b) Karioteka dan nukleus terbentuk kembali.
- c) Pada bidang pembelahan terbentuk sekat yang membagi sitoplasma menjadi dua bagian. Lihat Gambar 4.16
- d) Terbentuk 4 sel baru dengan jumlah kromosom  $\frac{1}{2}$  kromosom sel induk (haploid = n). Perhatikan Gambar 4.17.



Gambar 4.16  
Telofase II

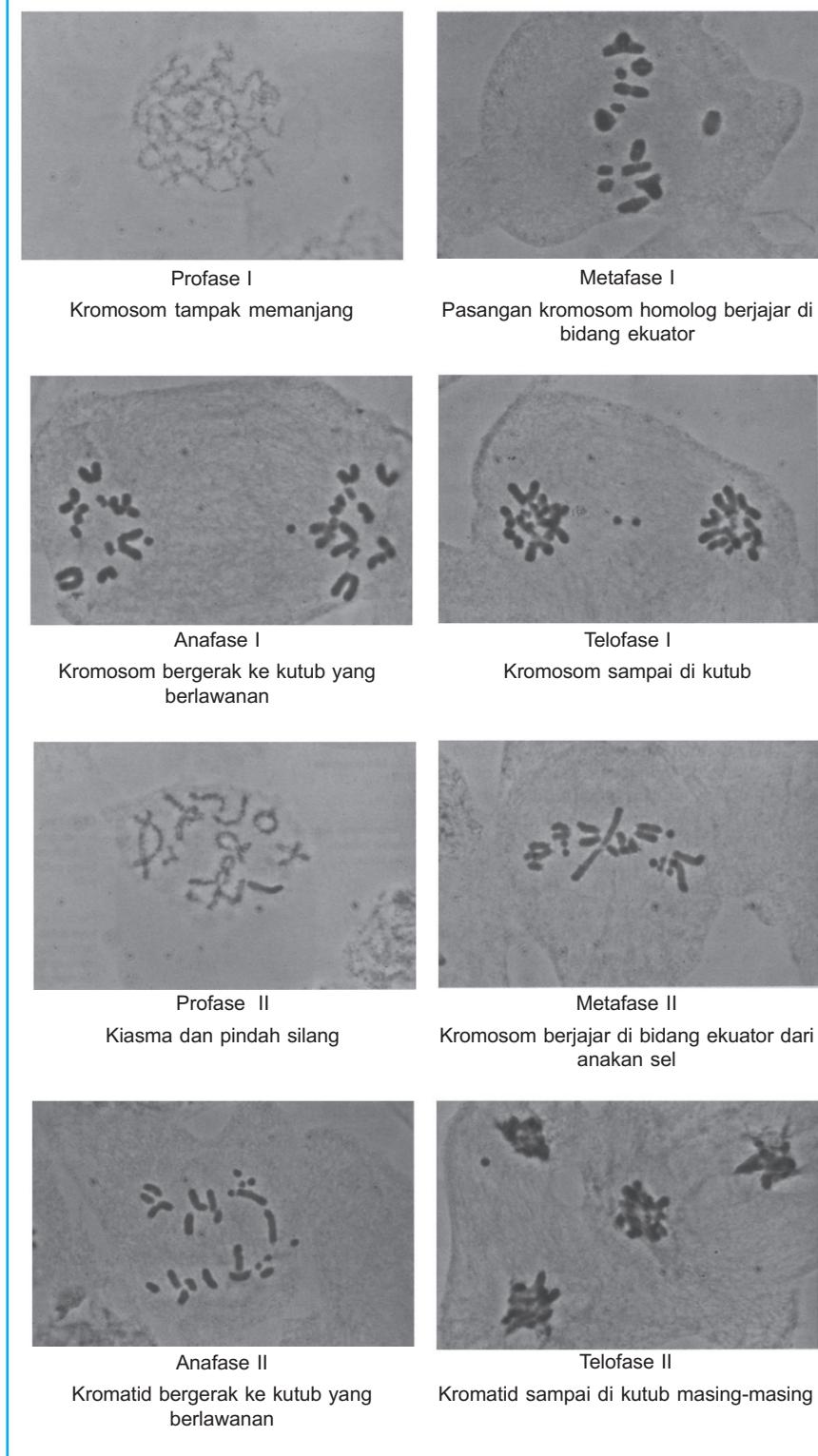


Gambar 4.17  
Terbentuk 4 sel anak

Terbentuk 4 sel anak. Setiap sel anak mengandung kromosom haploid. Selama profase I terjadi pindah silang yang menghasilkan variasi genetik pada keempat sel tersebut.

Sumber: Biology, Mader S.S

Perhatikan foto tahapan meiosis berikut (Gambar 4.18) agar Anda lebih memahami gambaran meiosis secara nyata.



Sumber: *New Understanding Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Toole

**Gambar 4.18**

Tahap-tahap meiosis sel hewan

Anda telah memahami materi pembelahan reduksi (meiosis). Apakah sebenarnya arti penting pembelahan meiosis bagi makhluk hidup? Marilah kita pelajari melalui uraian berikut.

Salah satu kunci kelangsungan hidup organisme tergantung pada kemampuan beradaptasi terhadap perubahan lingkungan. Oleh karena itu, sangat perlu untuk melahirkan keturunan yang berbeda (dalam hal variasi genetik) dengan induknya. Variasi yang adaptif akan dapat bertahan terhadap perubahan lingkungan.

Melalui pembelahan meiosis, paling tidak ada tiga cara untuk menghasilkan variasi baru. Ketiga cara itu dijelaskan seperti berikut.

a. **Produksi dan penggabungan sel-sel gamet (haploid)**

Variasi dalam keturunan dapat dihasilkan oleh percampuran genotif dari induk-induk mereka, yaitu melalui perkembangbiakan seksual. Sel-sel kelamin mengandung setengah jumlah kromosom sel induk sehingga memungkinkan adanya penggabungan sifat di antara dua sel kelamin (sperma dan ovum).

b. **Variasi genetik melalui distribusi acak selama metafase I**

Saat metafase I berlangsung, secara acak pasangan kromosom homolog mengatur diri pada bidang ekuator. Meskipun masing-masing pasangan kromosom membawa ciri-ciri umum sama, tetapi sebenarnya secara rinci mereka membawa ciri-ciri yang berbeda. Penyebaran secara random dan pemasangan secara bebas pada kromosom ini akan menghasilkan kombinasi genetik baru.

c. **Variasi genetik melalui pindah silang di antara kromosom homolog**

Selama profase I, bagian yang sama dari homolog mungkin berubah. Dengan cara ini dapat dihasilkan kombinasi genetik dan pemisahan gen-gen yang terpaut (*linked*).

Anda telah mempelajari pembelahan mitosis dan meiosis. Nah sekarang, lakukanlah kegiatan berikut agar Anda lebih memahami materi tersebut.



### Forum Diskusi

Pelajari kembali materi pembelahan mitosis dan meiosis di depan. Cermati pula gambar-gambar yang menyertai pembahasan materi tersebut. Selanjutnya, bandingkan kedua jenis pembelahan tersebut dan temukan 10 perbedaan antara pembelahan mitosis dengan meiosis. Catatlah hasil pengamatan kelompok Anda dalam tabel berikut.

**Tabel Perbedaan Mitosis dan Meiosis**

Mitosis	Meiosis
1. Pembelahan tunggal kromosom dan nukleus.	....
2. ....	Jumlah kromosom sel anak 1/2 dari jumlah kromosom sel induk.
3. Kromosom homolog tidak mengumpul ....	....
4. ....	Terbentuk kiasma.
5. Tidak terjadi pindah silang.	....
6. Sel anak identik dengan ....	....
7. Menghasilkan 2 sel anak.	....
8. Kromosom memendek dan menebal.	Kumparan kromosom lebih panjang dari pada mitosis.
9. Kromosom terbentuk dalam satu garis ekuator.	....
10. ....	Kromosom bergerak ke kutub berlawanan selama pembelahan meiosis I.

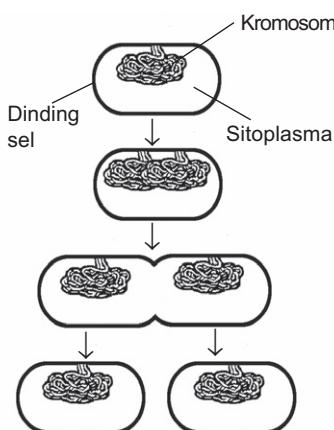
Presentasikan hasil diskusi kelompok Anda di depan kelas.

### 3. Pembelahan Langsung (Amitosis)

Pembelahan amitosis tidak didahului dengan pembentukan gelendong pembelahan dan peleburan inti. Amitosis merupakan salah satu cara reproduksi aseksual pada organisme uniselular, misalnya bakteri dan Protozoa (Lihat Gambar 4.19).

Mengapa pembelahan amitosis digolongkan sebagai reproduksi aseksual? Pada pembelahan ini setiap sel membelah menjadi dua (pembelahan biner). Pembelahan inti diikuti dengan pembagian sitoplasma. Sel-sel anak mempunyai ukuran dan struktur genetik yang serupa.

Pembelahan ini diawali dengan penggandaan DNA yang diikuti pembelahan kromosom sehingga terbentuk dua benang kromosom yang identik. Selanjutnya, terbentuk membran pemisah yang terbentang di antara kedua kromosom tersebut. Perhatikan gambar 4.19.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 4.19**  
Amitosis pada bakteri



## Uji Kompetensi A

Jawablah soal-soal berikut.

1. Jelaskan dengan bagan dan keterangan ringkas tentang berlangsungnya pembelahan mitosis.
2. Mengapa mitosis sangat penting dalam perbaikan jaringan?

3. Apa perbedaan pembelahan mitosis dengan meiosis?
4. Jelaskan dengan bagan dan keterangan ringkas tentang berlangsungnya pembelahan meiosis.
5. Jelaskan manfaat meiosis demi kelangsungan makhluk hidup.

## B. Pembentukan Gamet pada Hewan dan Tumbuhan Tingkat Tinggi

Berkembang biak merupakan salah satu ciri makhluk hidup. Kemampuan berkembang biak menentukan eksistensi organisme. Hewan dan tumbuhan tingkat tinggi berkembang biak secara seksual. Reproduksi seksual terjadi melalui fertilisasi sel telur (gamet betina) oleh sel sperma (gamet jantan) (Gambar 4.20). Gamet-gamet tersebut terbentuk melalui serangkaian proses pembelahan. Bagaimanakah sebuah sel dapat berkembang menjadi sel telur atau sel sperma? Pembentukan gamet jantan dan betina dipengaruhi proses pembelahan sel yang akan diuraikan dalam subbab berikut.

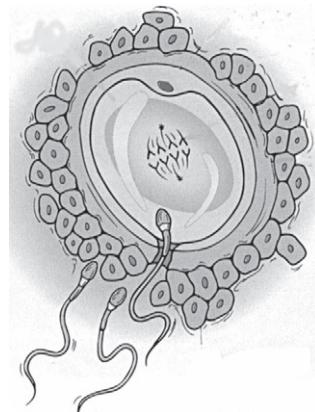
### 1. Gametogenesis pada Hewan Vertebrata

Gametogenesis terdiri atas spermatogenesis dan oogenesis. Spermatogenesis yaitu proses pembentukan sperma di dalam testis, sedangkan oogenesis yaitu proses pembentukan sel telur di dalam ovarium.

#### a. Spermatogenesis

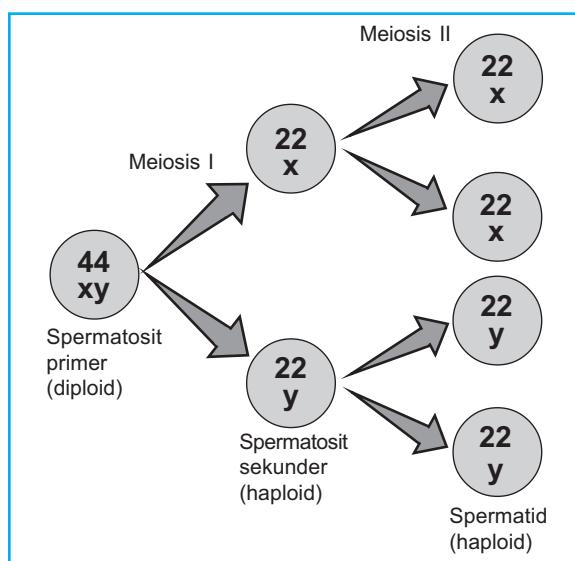
Pada manusia dan hewan tingkat tinggi, spermatogenesis terjadi di dalam testis (buah zakar). Sel-sel primordial diploid di dalam testis membelah secara mitosis berkali-kali dan membentuk *spermatogonium* ( $2n$ ). Spermatogonium mengandung 46 kromosom ( $2n = \text{diploid}$ ), yaitu terdiri atas 44 autosom (kromosom tubuh) dan 2 kromosom sel kelamin.

Spermatogonium mengalami perkembangan dan membentuk *spermatozit primer* (diploid). Setelah itu, membelah secara meiosis menghasilkan dua buah *spermatozit sekunder* haploid ( $n$ ). Satu spermatozit sekunder mengandung 22 autosom + sebuah kromosom-X, sedangkan spermatozit sekunder satunya mengandung 22 autosom + sebuah kromosom-Y. Lihat Gambar 4.21.



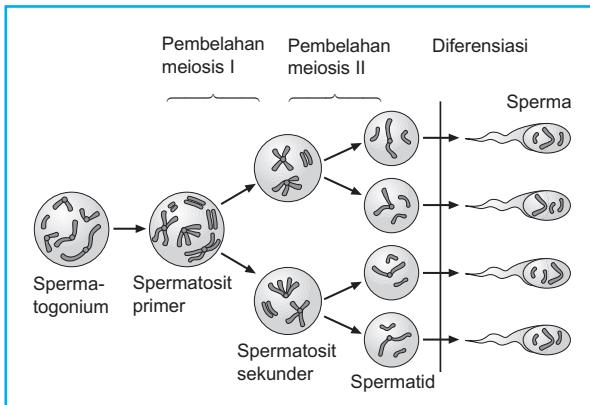
Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 4.20**  
Fertilisasi sel telur



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 4.21**  
Pembagian jumlah kromosom



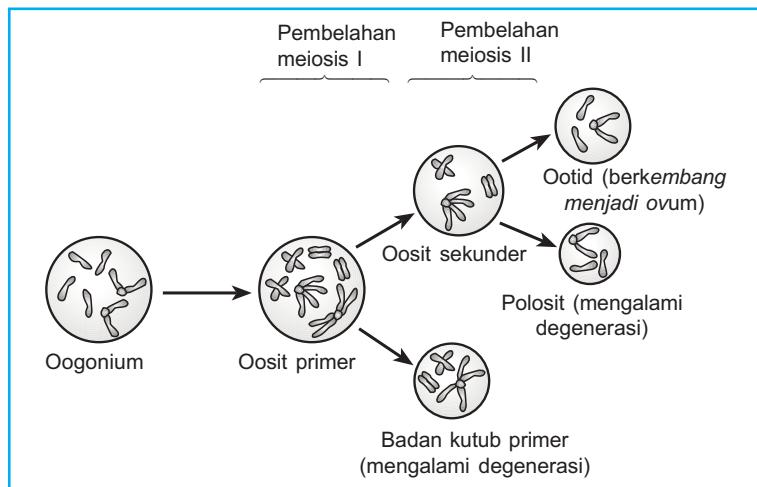
Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 4.22**  
Diagram spermatogenesis

### b. Oogenesis

Sel telur berasal dari sel-sel primordial diploid yang terdapat dalam ovarium, yang disebut **oogonium**. Setelah membelah secara mitosis berkali-kali membentuk **oosit primer** (diploid). Oosit primer mengandung 44 autosom + 2 kromosom-X (atau ditulis: 44A + XX).

Oosit primer membelah secara meiosis I menjadi sebuah sel besar disebut **ootid** (berkembang menjadi ovum) dan sebuah sel kecil disebut **badan kutub (polosit) primer** (n).



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 4.23**  
Diagram oogenesis

Badan kutub primer mengalami degenerasi (kemunduran), sedangkan oosit sekunder membelah secara meiosis II. Pembelahan oosit sekunder menghasilkan dua buah sel yang ukurannya tidak sama besar, yang besar disebut **ootid** dan yang kecil disebut **badan kutub (polosit) sekunder**. Selanjutnya, ootid mengalami pemasakan (maturasi) membentuk **ovum** atau **sel telur**, sedangkan polosit (badan kutub sekunder) mengalami degenerasi. Lihat Gambar 4.23.

## 2. Gametogenesis pada Tumbuhan Berbiji

Gametogenesis pada tumbuhan berbiji meliputi mikrosporogenesis dan makrosporogenesis. **Mikrosporogenesis** merupakan proses pembentukan gamet jantan, sedangkan **makrosporogenesis** (megasporogenesis) merupakan pembentukan gamet betina.

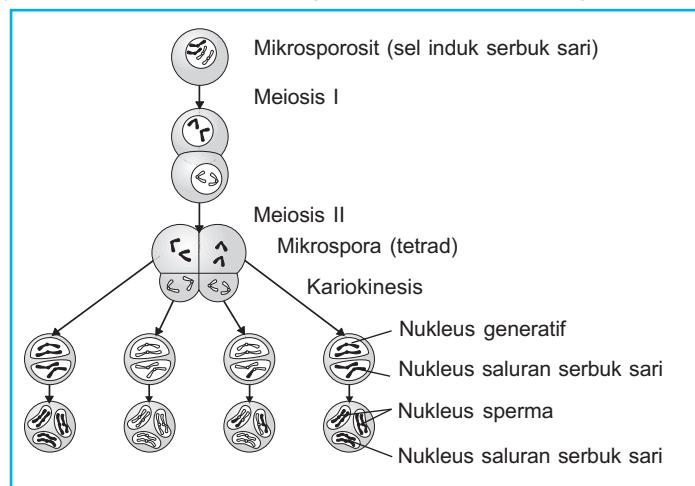
### a. Mikrosporogenesis

Mikrosporogenesis terjadi di dalam *kepala sari* atau antera. Di dalam antera terdapat kantong serbuk sari yang di dalamnya berisi sejumlah sel-sel induk serbuk sari atau sel induk mikrospora (mikrosporosit) yang diploid.

Proses mikrosporogenesis sebagai berikut.

- 1) Sel induk mikrospora (mikrosporosit) membelah meiosis I dan menghasilkan sepasang sel haploid.
- 2) Sepasang sel haploid membelah meiosis II menghasilkan 4 mikrospora haploid yang berkelompok menjadi satu disebut *tetrad*.
- 3) Setiap mikrospora mengalami kariokinesis sehingga menghasilkan 2 inti haploid. Satu inti disebut **inti saluran serbuk sari** (inti vegetatif), inti lain dinamakan **inti generatif**.
- 4) Inti generatif membelah secara mitosis tanpa sitokinesis sehingga terbentuk dua inti sperma. Inti saluran serbuk sari tidak membelah.

Jadi, dalam sebutir serbuk sari masak terdapat tiga inti haploid, yaitu sebuah inti saluran serbuk sari dan dua inti sperma (inti generatif). Perhatikan Gambar 4.24 agar lebih jelas memahami tentang proses mikrosporogenesis.



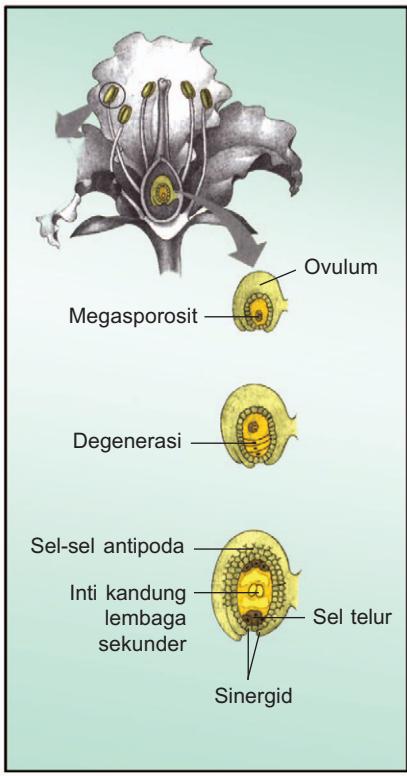
Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 4.24**

Diagram mikrosporogenesis

### b. Megasporogenesis

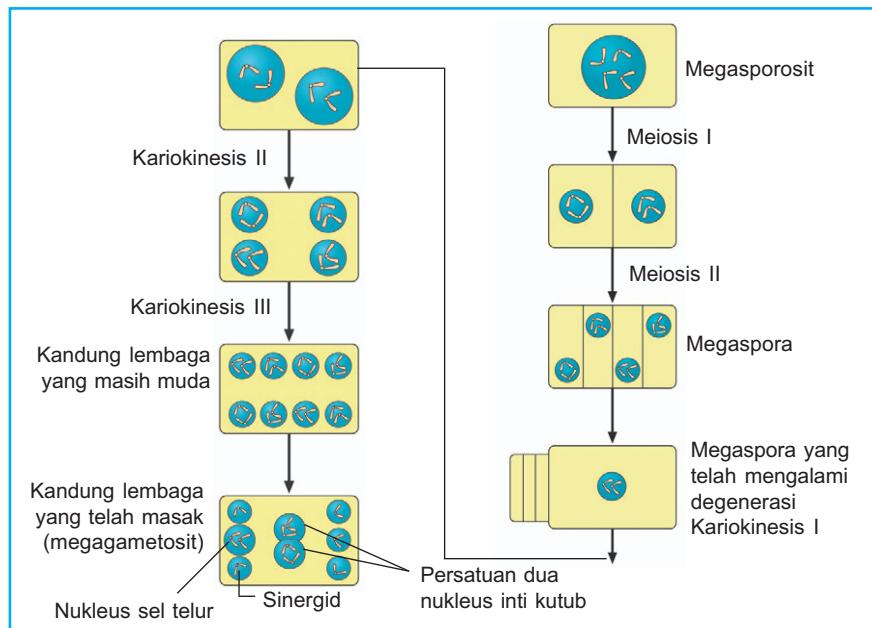
Megasporogenesis berlangsung dalam bakal buah atau ovarium. Di dalam ovarium terdapat bakal biji atau **ovulum** yang menempel pada dinding ovarium. Ovulum dilindungi oleh integumen luar dan integumen dalam. Bakal biji berhubungan dengan buluh serbuk melalui lubang mikrofil. Dalam bakal biji terdapat sel induk megaspora.



Sumber: Biology, Campbell

**Gambar 4.26**

Proses megasporogenesis pada Angiospermae



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 4.25**

Diagram megasporogenesis

Proses megasporogenesis pada Angiospermae. Perhatikan Gambar 4.25.

- 1) Sebuah sel induk megaspora diploid (megasporosit) dalam ovarium mengalami meiosis I dan menghasilkan dua sel haploid.
- 2) Kedua sel haploid mengalami meiosis II dihasilkan 4 megaspora haploid, tiga di antaranya mengalami **degenerasi**.
- 3) Megaspora yang masih hidup mengalami tiga kali kariokinesis tanpa sitokinesis dan dihasilkan sel besar (kandung lembaga muda) dan delapan inti haploid.
- 4) Dalam megaspora empat inti berada pada sisi kalaza dan empat inti lainnya di dekat mikrofil.
- 5) Satu inti dari tiap-tiap sisi menuju ke pusat dan bersatu membentuk kandung lembaga sekunder yang diploid.
- 6) Tiga inti pada bagian kalaza dinamakan **inti antipoda**, inti di bagian tengah yang dekat mikrofil dinamakan *ovum* (*sel telur*), dan yang di samping kiri kanan dinamakan **sinergid**. Pada peristiwa pembuahan inti generatif membuahi sel telur membentuk zigot diploid. Inti diploid hasil persatuan dua sel kutub yang dibuahi inti generatif menghasilkan endosperm bersifat triploid. Lihat Gambar 4.26.

## Uji Kompetensi B

Jawablah soal-soal berikut.

1. Jelaskan dengan skema terjadinya spermato genesis. Beri penjelasan secara singkat dan jelas.
2. Apa yang terjadi pada oosit primer setelah mengalami pembelahan meiosis I dan II? Jelaskan dengan skema.

3. Gambarkan dengan bagan terjadinya mikrosporogenesis. Berilah penjelasan secukupnya.
4. Jelaskan secara rinci dengan disertai bagan terjadinya megasporogenesis.



## Rangkuman

### 1. Pembelahan mitosis

Pembelahan mitosis meliputi dua proses pembelahan yang berurutan yaitu koriokinesis (pembelahan inti) dan sitokinesis (pembelahan sel). Pembelahan mitosis berlangsung dalam empat tahap.

#### a. Profase

Ciri-ciri tahap profase sebagai berikut.

- 1) Benang-kromatin membentuk kromosom.
- 2) Membran inti larut dan anak inti (nukleolus) menghilang.
- 3) Kromosom menduplikasi diri menjadi sepasang kromatid.
- 4) Sentriol membelah dan bergerak ke arah kutub, terbentuk benang-benang spindel.

#### b. Metafase

Ciri-ciri tahap metafase sebagai berikut.

- 1) Benang spindel mengikat sentromer-sentromer kromosom.
- 2) Kromosom berjajar pada bidang ekuatorial.

#### c. Anafase

Ciri-ciri tahap anafase sebagai berikut.

Benang-benang spindel memendek, kromatid menuju kutub yang berlawanan.

#### d. Telofase

Ciri-ciri tahap telofase

- 1) Mulai terbentuk membran inti.
- 2) Kromatid menipis dan mulai terbentuk anak inti.
- 3) Sitoplasma menebal dan terjadi sitokinesis (pembelahan sitoplasma).

### 2. Pembelahan meiosis

Pembelahan meiosis disebut juga pembelahan reduksi karena sel anakan yang terbentuk memiliki setengah jumlah kromosom sel induk.

Pembelahan meiosis berlangsung dalam dua tahap pembelahan yaitu meiosis I (pengurangan jumlah kromosom) dan meiosis II prosesnya sama dengan pembelahan mitosis.

### Tahap-tahap pembelahan meiosis

#### a. Meiosis I

##### 1) Profase I

Pada profase I berlangsung tahap-tahap sebagai berikut.

###### a) Leptonema

Terlihat benang-benang halus pada nukleus.

###### b) Zigonema

- (1) Pembentukan geminus
- (2) Terjadi sinapsis

###### c) Pakinema

Geminus telah terbentuk sempurna

###### d) Diplonema

- (1) Kromosom membelah dan menjauh tetapi terdapat kiasma
- (2) Pasangan kromosom homolog memisahkan diri

###### e) Diakinesis

- (1) Kromosom menebal
- (2) Geminus menyebar di sepanjang inti

##### 2) Metafase I

Pada metafase I berlangsung tahap-tahap sebagai berikut.

- a) Inti dan nukleolus menghilang.
- b) terbentuk benang-benang spindel.
- c) Kromosom homolog bergerak ke bidang ekuator.

##### 3) Anafase I

Pada anafase I, kromosom homolog berpisah dan bergerak ke kutub berlawanan tanpa pemisahan sentromer.

##### 4) Telofase I

Pada telofase I berlangsung tahap-tahap sebagai berikut.

- a) Membran inti dan anak inti kembali terbentuk.
- b) Sel anakan berpisah.
- c) Terbentuk 2 sel anakan haploid.

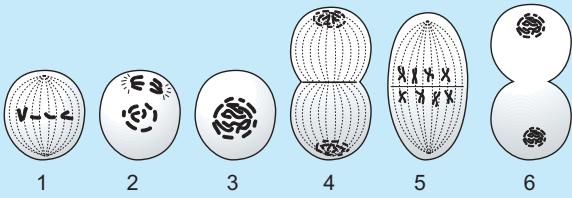
- b. Meiosis II  
Proses yang terjadi pada meiosis II serupa dengan proses pada mitosis.
3. Pembelahan Amitosis  
Amitosis merupakan salah satu cara reproduksi aseksual pada organisme uniselular, sehingga tidak diawali dengan pembentukan gelendong pembelahan dan peleburan inti.
4. Gametogenesis pada hewan Vertebrata terdiri atas spermatogenesis dan oogenesis.
- a. Spermatogenesis terjadi di dalam testis. Spermatogenesis menghasilkan sel sperma ( $n$ ).  
b. Oogenensis terjadi dalam ovarium. Oogenensis menghasilkan ovum ( $n$ ).  
5. Gametogenesis pada tumbuhan berbiji  
Gametogenesis meliputi mikrosporogenesis (pembentukan gamet jantan) dan makrosporogenesis (pembentukan gamet betina).



## Evaluasi

- A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.
- Pada siklus kehidupan sel, benang kromosom tidak ditemukan pada tahap ....
    - profase
    - anafase
    - interfase
    - metafase
    - telofase
  - Organisme yang berhasil berkembang biak tanpa melalui proses meiosis yaitu ....
    - lalat buah
    - nyamuk
    - belalang
    - cacing tanah
    - amoeba
  - Peristiwa sinapsis terjadi pada tahap ....
    - interfase
    - profase I
    - anafase I
    - profase II
    - metafase I

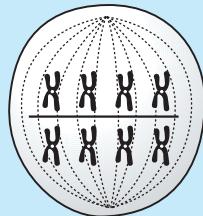
4. Perhatikan gambar fase pembelahan mitosis berikut ini.



Urutan fase pembelahan mitosis yaitu ....

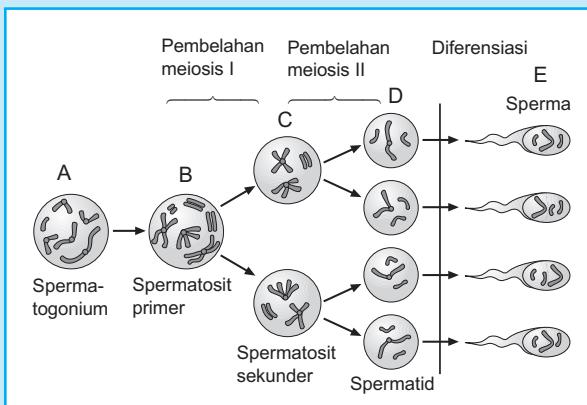
- 2 – 1 – 5 – 3 – 6 – 4
- 2 – 1 – 5 – 6 – 4 – 3
- 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 1
- 3 – 2 – 1 – 4 – 5 – 6
- 3 – 2 – 1 – 5 – 4 – 6

5. Gambar di samping merupakan salah satu fase mitosis pada tahap ....

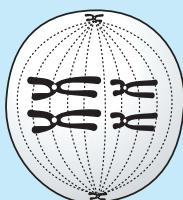


- profase
- metafase
- anafase
- telofase
- interfase

6. Tanaman buncis memiliki  $2n$  kromosom = 22 buah, jumlah kromatid pada metafase II merupakan . . . .
- 10
  - 12
  - 20
  - 22
  - 24
7. Ciri-ciri berikut merupakan beberapa tahapan pembelahan meiosis.
- Kromosom homolog melekat satu sama lain.
  - Terbentuk tetrad atau bivalen.
  - Kemungkinan terjadi saling tukar-menukar gen.
  - Kromosom homolog mengatur diri pada bidang ekuator.
  - Kromosom homolog berpisah.
  - Kromosom menuju kutub-kutub yang berlawanan.
- Ciri tahapan pembelahan yang terjadi pada profase I ditunjukkan nomor . . . .
- (1) – (2) – 3)
  - (2) – 3) – 4)
  - (3) – 4) – 5)
  - (3) – 4) – 6)
  - (4) – 5) – 6)
8. Perhatikan bagan meiosis berikut ini.

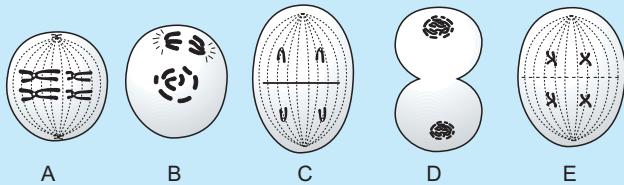


- Reduksi kromosom terjadi pada tahapan . . . .
- A
  - B
  - C
  - D
  - E
9. Perhatikan gambar pembelahan sel di samping. Sel tersebut berada pada fase . . . .
- profase I
  - metafase I
  - metafase II
  - profase II
  - anafase II



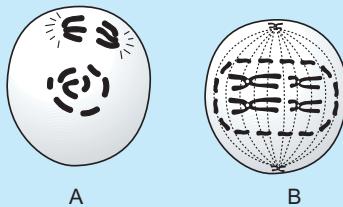
10. Pada organisme X dengan jumlah kromosom 12 pasang terjadi pembelahan meiosis. Kromatid organisme tersebut pada tahap profase berjumlah . . . pasang.
- 3
  - 4
  - 12
  - 24
  - 48

11. Berdasarkan tahapan pada meiosis, anafase I ditunjukkan oleh gambar . . . .



- A
- B
- C
- D
- E

12. Perhatikan gambar pembelahan meiosis di bawah ini.



Tahapan yang ditunjukkan pada A dan B secara berurutan disebut . . . .

- metafase I dan profase I
- profase I dan anafase I
- profase I dan metafase I
- anafase II dan telofase II
- akhir profase II dan metafase II

13. Sitokinesis yang terjadi pada proses mitosis berlangsung pada fase . . . .

- anafase
- interfase
- profase
- metafase
- telofase

14. Kromosom dapat dihitung pada saat metafase, hal tersebut disebabkan oleh . . . .

- terbentuk kromatid
- kromatid berjajar di bidang ekuator
- kromosom berubah menjadi kromatin
- kromatin berubah menjadi kromosom
- kromosom bergerak ke kutub yang berlawanan

15. Pada tumbuhan pembelahan reduksi terjadi pada . . . .
- lingkaran kambium
  - jaringan meristem
  - pucuk batang
  - alat perkembangbiakan
  - ujung akar

16. Tahapan-tahapan pembelahan meiosis.

No.	Fase-fase	Meiosis I
1.	Interfase	Replikasi kromosom. Kromosom membentuk kromatid kembar.
2.	Profase	Kromosom homolog bersinapsis. Terjadi pindah silang gen antarkromatid yang bersinapsis.
3.	Metafase	Kromosom homolog mengatur diri di bidang ekuator. Sentromer mengarah ke kutub-kutub yang berlawanan.
4.	Anafase	Kromosom homolog berpisah dan menuju ke kutub-kutub yang berlawanan.
5.	Telofase	Di sekitar kutub pembelahan dijumpai kromosom haploid terbentuk nukleus.

Perubahan kromosom yang terjadi pada meiosis I, tetapi tidak terjadi pada meiosis II terdapat pada tahap yang ditunjukkan oleh . . . .

- 1 dan 2
- 1 dan 5
- 2 dan 3
- 3 dan 4
- 4 dan 5

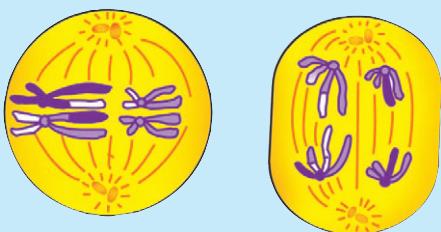
17. Salah satu ciri yang membedakan antara pembelahan mitosis dengan pembelahan meiosis yaitu . . . .

- pada meiosis sel anak identik dengan sel induk
- pada mitosis terjadi pengurangan jumlah kromosom
- pada mitosis menghasilkan dua sel anak-anak yang bersifat haploid
- pada mitosis tidak terjadi pindah silang antarkromatid homolog
- pada meiosis hasil akhir terbentuk empat sel anakan masing-masing diploid

18. Ciri berikut ini yang merupakan ciri dari telofase II pada meiosis II, yaitu . . . .

- terlihat benang-benang halus di bagian inti sel dan mulai terbentuk kromosom
- terbentuk dua sel anakan yang haploid
- terbentuk geminus
- dinding inti dan nukleolus menghilang
- terbentuk empat sel baru dengan jumlah kromosom  $\frac{1}{2}$  kromosom induk

19.



Perhatikan fase pembelahan di atas.

Proses berikutnya yang terjadi setelah sel mengalami fase seperti tampak pada gambar yaitu . . . .

- benang-benang kromatin menebal
- benang-benang kumparan menuju ke tengah dan melekat pada sentromer
- terbentuk sepasang sentriol yang bergerak menuju kutub-kutub sel
- mikrotubulus membentuk benang-benang kumparan
- kromatid berpisah dan menuju kutub-kutub

20. Pembelahan sel-sel kambium pada tumbuhan dikotil merupakan pembelahan . . . .

- amitosis
- mitosis
- sinergid
- endosperm
- embrional

21. Sel telur pada oogenesis berasal dari . . . .

- osit primer
- osit sekunder
- polosit primer
- polosit sekunder
- sel primordial diploid

22. Perbedaan antara spermatogenesis dengan oogenesis terletak pada . . . .

- tahap-tahap pembelahan
- jaringan tempat terjadinya proses
- jumlah sel kelamin yang fungsional
- pola pemisahan kromosom pada tiap fase
- jumlah kromosom pada sperma dan ovum

23. Setelah oogonium membelah secara mitosis berkali-kali akan menghasilkan . . . .

- osit sekunder diploid
- osit primer haploid
- osit primer diploid
- polosit primer
- polosit sekunder

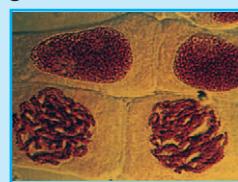
24. Pada pembelahan meiosis II mikrosporogenesis, akan terbentuk ....
- 2 mikrospora haploid
  - 2 mikrospora diploid
  - 2 mikrospora triploid
  - 4 mikrospora haploid
  - 4 mikrospora diploid
25. Bila n kromosom mikrosporosit yang terdapat di kepala sari berjumlah 26 buah, kromosom inti vegetatif spermatozoidnya akan berjumlah ... buah.
- 12
  - 13
  - 25
  - 26
  - 52
26. Pada spermatogenesis, sel pertama yang bersifat haploid yaitu ....
- sel epithelium germinal
  - spermatogonium
  - spermatosit primer
  - spermatosit sekunder
  - spermatid
27. Berdasarkan pengamatan terhadap diagram spermatogenesis di samping, nomor-nomor yang menunjukkan sel diploid terdapat pada ....
- I dan II
  - I dan IV
  - II dan III
  - II dan V
  - III dan IV
- 
28. Hasil oogenesi pada Angiospermae berupa ....
- empat ovum yang haploid
  - dua inti kandung lembaga sekunder
  - satu inti kandung lembaga sekunder yang haploid
  - kandung lembaga yang mengandung empat inti haploid
  - kandung lembaga yang mengandung delapan inti haploid
29. Inti yang terdapat pada bagian kalaza pada megasporogenesis disebut ....
- ovum
  - antipoda
  - sinergid
  - endosperm
  - generatif
30. Pembuahan inti diploid hasil persatuan dua sel kutub oleh inti generatif menghasilkan ....
- kandung lembaga sekunder
  - endosperm triploid
  - zigt haploid
  - zigt diploid
  - endosperm diploid
31. Proses oogenesi dihasilkan ....
- satu ovum dan satu polosit
  - satu ovum dan dua polosit
  - satu ovum dan tiga polosit
  - dua ovum dan dua polosit
  - tiga ovum dan satu polosit
32. Pada peristiwa megasporogenesis pembelahan meiosis I dari megasporosit menghasilkan ....
- empat mikrospora haploid
  - empat megaspora haploid
  - sepasang sel haploid
  - sepasang tetrad
  - tetrad dengan tiap sel haploid
33. Pada sebuah serbuk sari terdapat ....
- satu inti generatif dan dua inti saluran serbuk sari
  - dua inti generatif dan satu polosit
  - tiga inti generatif
  - dua inti generatif dan satu inti saluran serbuk sari
  - empat inti generatif
34. Masuknya saluran serbuk sari ke dalam kandung lembaga melalui suatu lubang yang disebut ....
- megasporosit
  - megaspora
  - makrospora
  - mikrospora
  - mikrofil
35. Kandung lembaga muda merupakan hasil pembelahan megaspora secara ....
- sitokinesis dua kali berturut-turut
  - kariokinesis dua kali berturut-turut
  - sitokinesis tiga kali berturut-turut
  - kariokinesis tiga kali berturut-turut
  - sitokinesis dan kariokinesis secara bergantian sebanyak tiga kali

B. Jawablah soal-soal berikut.

1. Sebutkan perbedaan pembelahan mitosis dengan meiosis.
2. Mengapa mitosis bisa menjaga agar faktor genetik tetap?
3. Apa arti penting pembelahan mitosis bagi makhluk hidup?
4. Apa yang dimaksud pembelahan reduksi? Kapan terjadi reduksi jumlah kromosom?
5. Apa arti penting pembelahan meiosis bagi makhluk hidup?
6. Uraikan secara singkat dan jelas proses mikrosporogenesis.
7. Jelaskan terbentuknya butir serbuk sari.
8. Mengapa zigot hasil fertilisasi bersifat diploid? Jelaskan.
9. Apa perbedaan antara spermatogenesis dengan oogenesis ditinjau dari hasil akhirnya?
10. Jelaskan proses diferensiasi ovule (bakal biji) pada pembentukan gamet betina.

C. Berpikir kritis.

Seorang siswa mengamati serangkaian foto peristiwa pembelahan sel tumbuhan seperti gambar berikut.



(1)



(2)



(3)



(4)

Siswa tersebut kesulitan mengurutkan tahapan pembelahan sel itu.

- Bagaimana urutan yang benar sesuai tahapan pembelahan mitosis?
- Apa ciri khas pada setiap tahapan tersebut? Jelaskan.

### Refleksi

Pelajari kembali

### Pembelahan Sel

Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

1. Apa maksud pembelahan mitosis, meiosis, dan amitosis?
2. Apa saja ciri-ciri tiap tahap pembelahan?
3. Apa perbedaan pembelahan mitosis dan meiosis?
4. Apakah perbedaan spermatogenesis dan oogenesis?

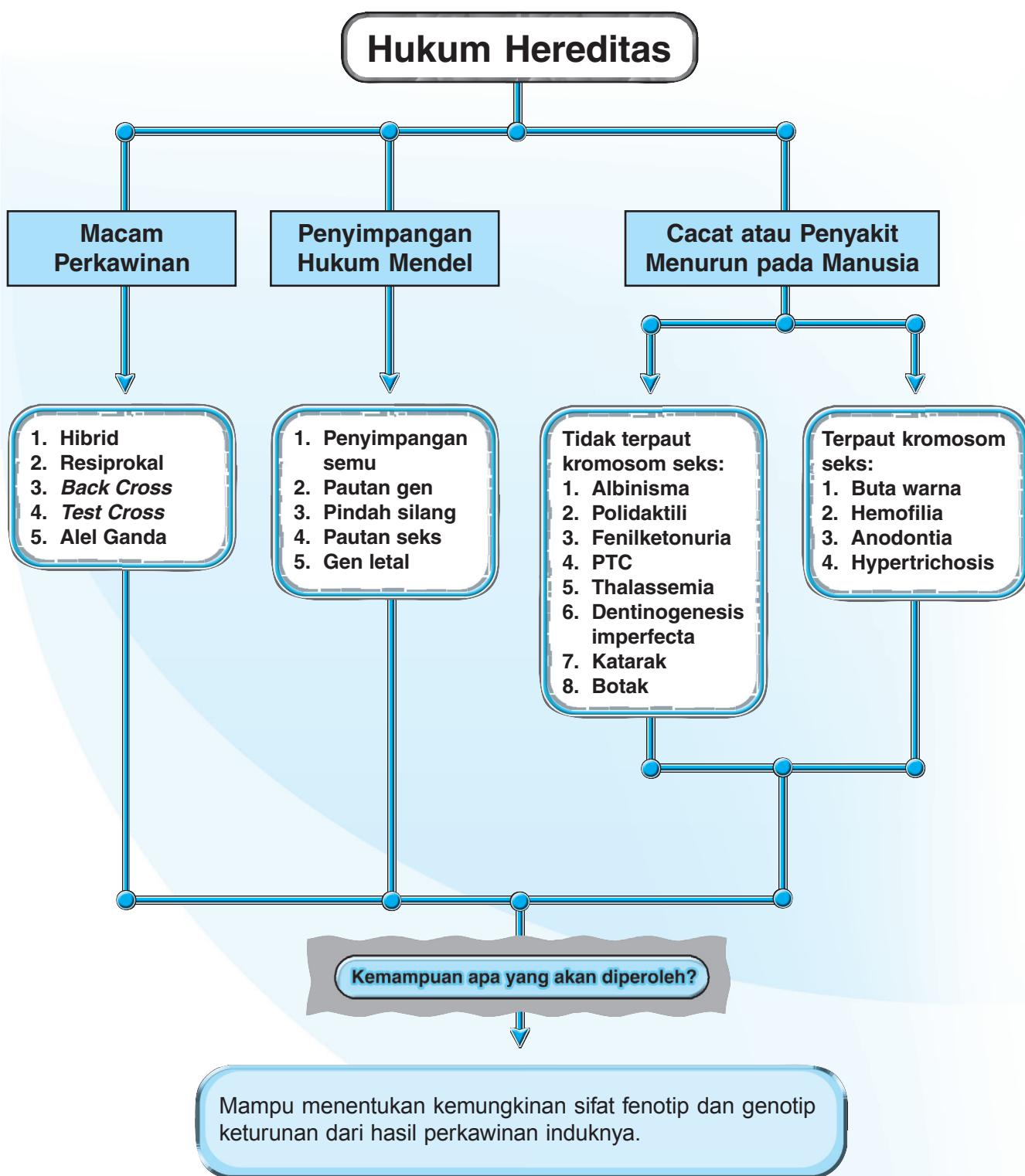
Jawaban betul < 60%

Jawaban betul  $\geq 60\%$

Pelajari materi  
bab berikutnya

# Bab V

# Hukum Hereditas





## Selasar



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Anda dapat menjumpai perbedaan fisik maupun sifat pada manusia. Ada yang berkulit sawo matang, hitam, atau putih. Ada yang berambut keriting, ikal, maupun lurus. Di negara kita juga terdapat keanekaragaman. Perhatikan ciri-ciri fisik penduduk asli Papua dan Jawa, pasti berbeda. Namun, bila Anda melihat mereka bersama keluarganya masing-masing, Anda akan menemukan kemiripan di antara mereka.

Pada bab ini Anda akan mempelajari mengenai hukum Mendel dan penyimpangannya. Selain itu, Anda dapat mempelajari hereditas pada manusia dan manfaatnya bagi kehidupan manusia. Setelah mempelajari bab ini Anda diharapkan dapat memahami hukum hereditas serta memanfaatkannya bagi kehidupan manusia.

Kata Kunci	?
hukum Mendel	?
persilangan	?
fenotip	?
genotip	?
dominan	?
resesif	?
homozigot	?
heterozigot	?
penyimpangan hukum Mendel	?
hereditas	?

Perkawinan akan menghasilkan keturunan yang mempunyai bentuk fisik dan sifat yang mirip dengan orang tua mereka. Hal ini terjadi karena sifat yang terdapat pada gen dalam nukleus sel sperma akan bergabung dengan gen dalam nukleus sel telur. Dari perkawinan itu akan menghasilkan suatu individu yang di dalamnya terdapat gabungan dari sifat-sifat gen tersebut. Bab ini akan menjelaskan pola pengendalian sifat keturunan pada makhluk hidup.

## A. Hukum Mendel

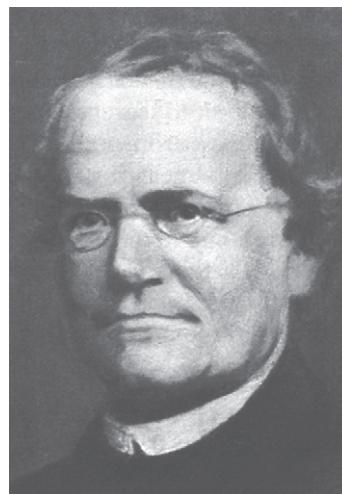
Anda telah mengetahui bahwa gen yang terdapat pada kromosom di dalam nukleus merupakan pengendali faktor keturunan pada makhluk hidup. Gen berfungsi menyampaikan informasi genetik kepada generasi berikutnya. Oleh karena itu, setiap keturunan akan mempunyai fenotip maupun genotip yang hampir sama atau hasil campuran sifat-sifat induknya. Sifat yang dapat diamati disebut fenotip, misal warna, bentuk, ukuran, dan sebagainya. Sifat yang tidak dapat diamati disebut genotip berupa susunan genetik suatu individu.

**Gregor Johann Mendel** (1822–1884) merupakan seorang biarawan berkebangsaan Austria, yang berjasa besar dalam memperkenalkan ilmu pengetahuan tentang pewarisan sifat atau disebut genetika. Hukum genetika yang diperkenalkan Mendel dikenal dengan hukum I Mendel dan hukum II Mendel. Dari penemuannya ini, Mendel dikukuhkan sebagai **Bapak Genetika**. Lihat Gambar 5.1.

Selama delapan tahun (1856–1864) Mendel melakukan penelitian persilangan pada tanaman ercis atau *Pisum sativum* (kacang kapri). Mendel memilih tanaman ercis untuk percobaannya sebab tanaman ercis masa hidupnya tidak lama hanya berkisar setahun, mudah tumbuh, memiliki bunga sempurna sehingga terjadi penyebukan sendiri yang akan menghasilkan galur murni (keturunan yang selalu memiliki sifat yang sama dengan induknya), dan mampu menghasilkan banyak keturunan. Perhatikan Gambar 5.2. Tanaman ercis memiliki tujuh sifat dengan perbedaan yang mencolok seperti berikut.

1. Batang tinggi atau kerdil (pendek).
2. Buah polongan berwarna kuning atau hijau.
3. Bunga berwarna ungu atau putih.
4. Letak bunga aksial (sepanjang batang) atau terminal (pada ujung batang).
5. Biji masak berwarna hijau atau kuning.
6. Permukaan biji bulat atau berkerut.
7. Warna kulit biji abu-abu atau putih.

Faktor determinan (gen) disimbolkan oleh sebuah huruf. Huruf yang umum digunakan adalah huruf pertama dari suatu sifat. Contoh **R** merupakan gen yang menentukan warna merah (**R** dari kata *rubra* artinya merah) dan **r** adalah gen yang menentukan warna putih (*alba*). **R** ditulis dengan huruf besar karena warna merah yang dibawa oleh gen **R** bersifat dominan terhadap warna putih yang dibawa gen **r**. Sifat dominan mengalahkan sifat resesif.



Sumber: Biology, Raven & Johnson

Gambar 5.1

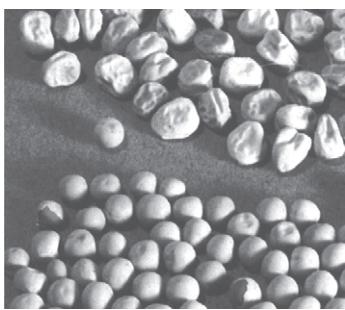
Gregor Johann Mendel



Sumber: Biology, Raven & Johnson

Gambar 5.2

*Pisum sativum*



Sumber: Biology, Raven & Johnson

**Gambar 5.3**

Permukaan biji *Pisum sativum* berbentuk bulat dan berkerut

Perhatikan diagram persilangan (diagram punnet) di samping.



Genotip suatu individu biasanya bersifat diploid ( $2n$ ) sehingga diberi simbol dengan dua huruf yang sama. Sifat suatu individu yang genotipnya terdiri atas gen-gen yang sama dari tiap jenis gen misalnya RR, rr, AABB, aabb disebut **homozigot**. Sifat suatu individu yang genotipnya terdiri atas gen-gen yang berlainan dari tiap jenis gen disebut **heterozigot**, misalnya Rr, AaBb, dan sebagainya.

## 1. Hibrid

Hibrid merupakan perkawinan dua individu yang mempunyai sifat beda. Berdasarkan banyaknya sifat beda individu yang melakukan perkawinan, hibrid dibedakan sebagai berikut.

- Monohibrid**, yaitu suatu hibrid dengan satu sifat beda (Aa).
- Dihibrid**, yaitu suatu hibrid dengan dua sifat beda (AaBb).
- Trihibrid**, yaitu suatu hibrid dengan tiga sifat beda (AaBbCc).

### a. Hukum I Mendel

Hukum I Mendel diperoleh dari hasil perkawinan monohibrid, yaitu persilangan dengan satu sifat beda. Mendel melakukan persilangan antara tanaman ercis biji bulat dengan tanaman ercis biji berkerut (perhatikan Gambar 5.3). Hasilnya semua keturunan  $F_1$  berupa tanaman ercis biji bulat. Selanjutnya dilakukan persilangan antarketurunan  $F_1$  untuk mendapatkan keturunan  $F_2$ . Pada keturunan  $F_2$  didapatkan perbandingan fenotip kira-kira 3 biji bulat : 1 biji berkerut.

P : (Parental: induk)	♀ BB (Biji bulat)	><	♂ bb (Biji berkerut)									
Gamet:	B		b									
		↓										
$F_1$ : (Fillial: Keturunan)		Bb										
			(Biji bulat)									
$F_1 >< F_1$ :	♀ Bb (Bulat)	><	♂ Bb (Bulat)									
Gamet :	B		B									
	b		b									
$F_2$ :	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">♀ ♂</th> <th style="text-align: center;">B</th> <th style="text-align: center;">b</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">BB (Bulat)</td> <td style="text-align: center;">Bb (Bulat)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">b</td> <td style="text-align: center;">Bb (Bulat)</td> <td style="text-align: center;">bb (Berkerut)</td> </tr> </tbody> </table>			♀ ♂	B	b	B	BB (Bulat)	Bb (Bulat)	b	Bb (Bulat)	bb (Berkerut)
♀ ♂	B	b										
B	BB (Bulat)	Bb (Bulat)										
b	Bb (Bulat)	bb (Berkerut)										

Perbandingan fenotip bulat : berkerut = 3 : 1

Perbandingan genotip BB : Bb : bb = 1 : 2 : 1

Berdasarkan hasil perkawinan yang diperoleh dalam percobaannya, Mendel menyimpulkan bahwa pada waktu pembentukan gamet-gamet, gen akan mengalami segregasi (memisah) sehingga setiap gamet hanya akan menerima sebuah gen saja. Kesimpulan itu dirumuskan sebagai **hukum I Mendel** yang dikenal juga dengan hukum **Pemisahan Gen yang Sealel**.

Macam dan jumlah gamet dapat ditentukan dengan menggunakan rumus. Rumus untuk jumlah gamet =  $2^n$  dan n = jumlah gen heterozigot. Perhatikan beberapa contoh berikut.

1) Monohibrid      Aa       $\Rightarrow$  gamet  $\begin{array}{c} A \\ \diagdown \\ a \end{array}$  Jumlah  $2^1 = 2$   
Gen dominan = 1 (A)

2) Dihibrid      AaBb       $\Rightarrow$  gamet  $\begin{array}{c} AB \\ Ab \\ aB \\ ab \end{array}$  Jumlah  $2^2 = 4$

Jumlah gen heterozigot = 2, yaitu A dan B.

Lakukan latihan untuk menentukan macam dan jumlah gamet melalui Tugas mandiri berikut.

### Tugas Mandiri

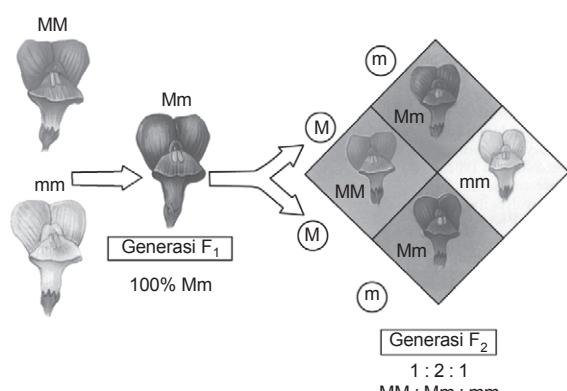
Buatlah macam dan jumlah gamet untuk trihibrid AabbCC dan AaBbCC. Kumpulkan jawaban Anda.

Beberapa kesimpulan penting dari perkawinan monohibrid di atas sebagai berikut.

- 1) Semua individu F<sub>1</sub> memiliki sifat yang seragam.
- 2) Jika dominan nampak sepenuhnya, individu F<sub>1</sub> memiliki fenotip seperti induknya yang dominan.
- 3) Pada waktu individu F<sub>1</sub> yang heterozigot itu membentuk gamet-gamet terjadilah pemisahan alel sehingga gamet hanya memiliki salah satu alel saja.
- 4) Jika dominasi nampak sepenuhnya, perkawinan monohibrid (Bb >< Bb) menghasilkan keturunan yang memperlihatkan perbandingan fenotip 3 : 1 (yaitu biji bulat : biji berkerut) dan memperlihatkan perbandingan genotip 1 : 2 : 1 (yaitu BB : Bb : bb).

Kadang-kadang individu hasil perkawinan tidak didominasi oleh salah satu induknya. Dengan kata lain, sifat dominan tidak muncul secara penuh. Peristiwa itu menunjukkan adanya **sifat intermediat**.

Perhatikan Gambar 5.4. Sifat intermediat dapat dilihat pada penyerbukan silang tanaman bunga pukul empat (*Mirabilis jalapa*). Jika serbuk sari berasal dari tanaman homozigot berbunga merah (MM) disilangkan ke putik tanaman homozigot berbunga putih (mm), semua keturunan F<sub>1</sub> berbunga merah muda (Mm). Perhatikan diagram berikut.



Sumber: Biology, Raven & Johnson

**Gambar 5.4**

Perkawinan monohibrid menghasilkan sifat intermediat

P : Gamet :	$\sigma$ MM (Merah) M	><  ↓	♀mm (Putih) m												
$F_1$ :	Mm (Merah muda)														
$F_1 >< F_1$ :	$\sigma$ Mm (Merah muda)	><	♀Mm (Merah muda)												
Gamet :	M m	M m													
$F_2$ :	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\sigma</math></th> <th><math>\sigma</math></th> <th></th> </tr> <tr> <th>♀</th> <th>♂</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M</td> <td>M</td> <td>Mm (Merah muda)</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>Mm (Merah muda)</td> <td>mm (Putih)</td> </tr> </tbody> </table>	$\sigma$	$\sigma$		♀	♂		M	M	Mm (Merah muda)	m	Mm (Merah muda)	mm (Putih)	M Mm (Merah) m	m Mm (Merah muda) mm (Putih)
$\sigma$	$\sigma$														
♀	♂														
M	M	Mm (Merah muda)													
m	Mm (Merah muda)	mm (Putih)													

Perbandingan fenotip merah : merah muda : putih = 1 : 2 : 1  
 Perbandingan genotip MM : Mm : mm = 1 : 2 : 1

Berdasarkan diagram persilangan di atas diperoleh semua tanaman  $F_1$  heterozigot berbunga merah muda (Mm). Warna ini merupakan sifat intermediat (antara merah dan putih). Jika  $F_1$  mengadakan penyerbukan sendiri, maka  $F_2$  akan memperlihatkan perbandingan 1 merah : 2 merah muda : 1 putih.

Lakukan kegiatan berikut untuk mengetahui perbandingan genotip dan fenotip  $F_2$  pada persilangan monohibrid.



## Eksperimen 1

### Menyilangkan Sifat Monohibrid

#### 1. Sifat Dominasi Penuh

Siapkan 2 buah kantung yang berisi 12 kancing yang terdiri dari 6 kancing berwarna merah dan 6 kancing berwarna putih. Kantung diumpamakan alat kelamin dan kancing diumpamakan gamet. Kancing merah diumpamakan gen dominan (R) dan kancing putih diumpamakan alel yang bersifat resesif (r). Lakukan langkah-langkah berikut.

- Ambillah satu kancing dari kantung kiri menggunakan tangan kiri. Pada waktu bersamaan ambillah satu kancing dari kantung kanan menggunakan tangan kanan.

- Catatlah pengambilan kancing tersebut, anggap pertemuan kancing di kedua belah tangan Anda itu merupakan zigot. Ada tiga kemungkinan yang Anda peroleh, yaitu:
  - 2 kancing merah, berarti zigot bergenotip RR = merah,
  - 1 kancing merah dan 1 kancing putih, berarti zigot bergenotip Rr = merah, dan
  - 2 kancing putih, berarti zigot bergenotip rr = putih.
 Setelah Anda selesai mencatat hasilnya, kembalikan kancing-kancing itu.
- Ulangi percobaan itu sampai 10 kali dengan mengaduk kancing itu terlebih dahulu dan catat hasilnya.
- Buatlah tabel berikut.

Pengambilan Ke-	RR (Merah)	Rr (Merah)	rr (Putih)
1			
2			
3			
.			
10			
Jumlah			

- e. Hitunglah frekuensi genotip dan fenotipnya, bandingkan pula dengan perbandingan menurut Mendel.  
f. Buatlah diagram persilangannya.
2. Sifat Dominasi Tidak Penuh (Intermediat)  
Lakukanlah eksperimen seperti di atas, tetapi dalam eksperimen ini memiliki kemungkinan sifat intermediat. Bila diperoleh 1 kancing merah dan 1 kancing putih, zigotnya memiliki genotip Rr dan fenotipnya merah

muda (intermediat). Catatlah perolehan hasilnya dalam tabel berikut.

Pengambilan Ke-	RR (Merah)	Rr (Merah Muda)	rr (Putih)
1			
2			
3			
.			
10			
Jumlah			

#### Pertanyaan:

- Berapa perbandingan genotip dan fenotip pada  $F_2$ ?
- Samakah perbandingan tersebut dengan perbandingan yang dikemukakan oleh Mendel?

Buatlah laporan tertulis hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru Anda.

### b. Hukum II Mendel

Pada percobaan berikutnya, Mendel menggunakan persilangan dengan dua sifat beda atau disebut **persilangan dihibrid**. Mendel menggunakan dua sifat beda dari tanaman ercis, yaitu bentuk dan warna biji. Oleh Mendel, tanaman ercis biji bulat-kuning disilangkan dengan tanaman ercis biji berkerut-hijau. Hasilnya, semua keturunan  $F_1$  berupa tanaman ercis biji bulat-kuning. Pada persilangan antarindividu  $F_1$  didapatkan 16 kombinasi gen dengan empat fenotip, yaitu tanaman ercis biji bulat-kuning, biji bulat-hijau, biji berkerut-kuning, dan biji berkerut-hijau.

Misalnya diketahui gen-gen yang menentukan sifat biji tanaman ercis sebagai berikut.

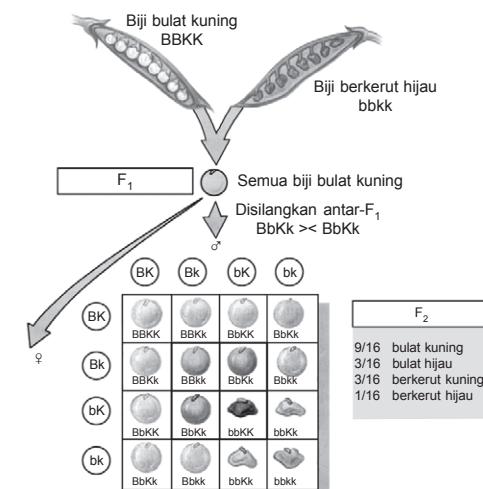
- B = gen yang menentukan biji bulat.
- b = gen yang menentukan biji berkerut.
- K = gen yang menentukan biji berwarna kuning.
- k = gen yang menentukan biji berwarna hijau.

Selanjutnya, perhatikan diagram persilangan pada Gambar 5.5 di samping.

Perbandingan genotip dan fenotip  $F_2$  dapat Anda amati dalam Tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5.1 Perbandingan Genotip dan Fenotip  $F_2$  pada Persilangan Dihibrid**

Perbandingan Fenotip	Perbandingan Genotip	Genotip	Fenotip
9	1	BBKK	bulat kuning
	2	BBKk	
	2	BbKK	
	4	BbKk	



Sumber: Biology, Raven & Johnson

**Gambar 5.5**  
Persilangan dihibrid

Perbandingan Fenotip	Perbandingan Genotip	Genotip	Fenotip
3 2	1	BBkk Bbkk	bulat hijau
	2	bbKK bbKk	berkerut kuning
1	1	bbkk	berkerut hijau

Berdasarkan hasil percobaan di atas, Mendel menarik kesimpulan bahwa gen-gen dari sepasang alel memisah secara bebas (tidak saling mempengaruhi) ketika terjadi meiosis selama pembentukan gamet. Prinsip ini dikenal sebagai **hukum II Mendel** atau dikenal dengan *The Law of Independent Assortment of Genes* atau **hukum Pengelompokan Gen secara Bebas**. Oleh karena itu, pada contoh dihibrid tersebut terjadi 4 macam pengelompokan dari dua pasang gen sebagai berikut.

- 1) Gen B mengelompok dengan gen K, terdapat dalam gamet BK.
- 2) Gen B mengelompok dengan gen k, terdapat dalam gamet Bk.
- 3) Gen b mengelompok dengan gen K, terdapat dalam gamet bK.
- 4) Gen b mengelompok dengan gen k, terdapat dalam gamet bk.

Contoh persilangan dihibrid yang lain misalnya pada tanaman bunga pukul empat. Tanaman bunga pukul empat ada yang berdaun lebar (LL) dan ada yang berdaun sempit (ll), dan yang berdaun sedang bersifat heterozigot (Ll). Bunganya ada yang berwarna merah (MM), ada yang putih (mm), dan ada yang merah muda (Mm). Jika tanaman berdaun sempit-bunga putih disilangkan dengan tanaman berdaun lebar-bunga merah, tanaman F<sub>1</sub> bersifat intermediat berdaun sedang dan berbunga merah muda. Tanaman F<sub>2</sub> akan memperlihatkan 16 kombinasi genotip maupun fenotip dengan perbandingan 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1.

P :	♀ LLMM (Lebar, merah)	><	♂ llmm (Sempit, putih)
Gamet :	LM		lm
F <sub>1</sub> :	↓		
	LIMm (Sedang, merah muda) (intermediat)		

F <sub>2</sub>	♀ ♂	LM	Lm	IM	Im
		LM	LLMM	LLMm	LIMM
	Lm	LLMm	LLmm	LIMm	Llmm
	IM	LIMM	LIMm	IIMM	IIMm
	Im	LIMm	Llmm	IIMm	Ilmm

Monohibrid dapat menghasilkan sifat intermediat seperti contoh perkawinan *Mirabilis jalapa* di depan. Sifat intermediat ini juga dapat ditemui pada dihibrid.



Perbandingan genotip dan fenotip dapat Anda amati dalam Tabel 5.2 berikut.

**Tabel 5.2 Perbandingan Genotip dan Fenotip  $F_2$  pada Dihibrid**

Perbandingan Fenotip	Perbandingan Genotip	Genotip	Fenotip (Lebar Daun-Warna Bunga)
1	1	LLMM	lebar-merah
2	2	LLMm	lebar-merah muda
1	1	LLmm	lebar-putih
2	2	LIMM	sedang-merah
4	4	LIMm	sedang-merah muda
2	2	Llmm	sedang-putih
1	1	IIMM	sempit-merah
2	2	IIMm	sempit-merah muda
1	1	Ilmm	sempit-putih

Lakukan kegiatan berikut untuk mengetahui perbandingan genotip dan fenotip  $F_2$  pada persilangan dihibrid.



## Eksperimen 2

### Menyilangkan Sifat Dihibrid

#### 1. Sifat Dominasi Penuh

Siapkan 2 buah kantung yang masing-masing berisi 16 kancing yang terdiri atas:

- 4 merah-biru (RB) diibaratkan bunga merah dan buah bulat,
- 4 merah-abu-abu (Rb) diibaratkan bunga merah dan buah oval,
- 4 putih-biru (rB) diibaratkan bunga putih dan buah bulat,
- 4 putih-abu-abu (rb) diibaratkan bunga putih dan buah oval.

Kantung ini diumpamakan alat kelamin individu dihibrid ( $RrBb$ ), sedangkan kombinasi kancing tersebut merupakan gamet-gamet yang dibentuk oleh dihibrid itu. Lakukan seperti Eksperimen 1. Catat hasilnya dalam tabel dan ulangi sampai 16 kali.

Pengambilan Ke-	R-B- (Merah-Bulat)	R-bb (Merah-Oval)	rrB- (Putih-Bulat)	rrbb (Putih-Oval)
1				
2				
3				
.				
Jumlah				

Hitunglah frekuensi genotip dan fenotip  $F_2$ . Bandingkan dengan perbandingan menurut Mendel. Buat pula diagram persilangannya.

#### 2. Dominasi Tidak Penuh

Lakukan kegiatan seperti di atas tetapi dalam kegiatan ini memiliki kemungkinan sifat intermediat. Catatlah perolehan hasilnya dalam tabel seperti di atas. Namun, simaklah dahulu arti dari kombinasi kancing yang menunjukkan adanya sifat intermediat.

Genotip	Fenotip
RRBB	bunga merah, buah bulat
RRBb	bunga merah, buah agak bulat
RRbb	bunga merah, buah oval
RrBB	bunga merah jambu, buah bulat
RrBb	bunga merah jambu, buah agak bulat
Rrb	bunga merah jambu, buah oval
rrBB	bunga putih, buah bulat
rrBb	bunga putih, buah agak bulat
rrbb	bunga putih, buah oval

### Pertanyaan:

- Berapa perbandingan genotip dan fenotip pada  $F_2$ ?
- Samakah perbandingan tersebut dengan perbandingan yang dikemukakan oleh Mendel?

Buatlah laporan tertulis hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

Berdasarkan beberapa contoh persilangan di halaman depan, ternyata terdapat hubungan antara banyaknya sifat beda, jumlah gamet, serta kombinasi fenotip dan genotip  $F_2$ , seperti dijelaskan dalam Tabel 5.3 berikut.

**Tabel 5.3** Hubungan Antara Sifat Beda, Jumlah Gamet, serta Kombinasi Fenotip dan Genotip

Banyaknya Sifat Beda	Macam Gamet dari $F_1$	Banyaknya Kombinasi dalam $F_2$	Banyaknya Fenotip dalam $F_2$	Banyaknya Kombinasi Persis $F_1$	Banyaknya Kombinasi Homozigot	Banyaknya Kombinasi Heterozigot	Banyaknya Macam Genotip dalam $F_2$
1	2	4	2	2	2	0	3
2	4	16	4	4	4	2	9
3	8	64	8	8	8	6	27
4	16	256	16	16	16	14	81
n	$2^n$	$(2^n)^2$	$2^n$	$2^n$	$2^n$	$2^n - 2$	$3^n$

Sementara itu, untuk meramalkan atau mengetahui perbandingan fenotip  $F_2$  dari suatu hibrid dapat dicari dengan rumus segitiga Pascal. Perhatikan Tabel 5.4 berikut.

**Tabel 5.4** Meramalkan Perbandingan Fenotip  $F_2$  dengan Rumus Segitiga Pascal

Jumlah Sifat Beda	Jumlah Macam Fenotip	Kemungkinan Macam Fenotip	Perbandingan Fenotip $F_2$
1	2	1 1	3 : 1
2	4	1 2 1	9 : 3 : 3 : 1
3	8	1 3 3 1	27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 3 : 1
4	16	1 4 6 4 1	81 : 27 : 27 : 27 : 27 : 9 : 9 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 3 : 1
5	32	1 5 10 10 5 1	243 : 81 : 81 . . . : 27 : 27 . . . : 9 : 9 . . . : 3 : 3 . . . : 1
6	$2^n$	1 6 15 20 15 6 1	14243 14243 123 123 5× 10× 10× 5× $3^n$ : . . . dan seterusnya

## 2. Perkawinan Resiprokal

Perkawinan resiprokal merupakan perkawinan kebalikan dari yang semula dilakukan dan menghasilkan keturunan dengan perbandingan genotip yang sama. Perhatikan contoh berikut.

Mula-mula dikawinkan tanaman ercis berbuah polong hijau dengan tanaman ercis polong kuning. Semua tanaman  $F_1$  berbuah polong hijau. Keturunannya  $F_2$  memisah dengan perbandingan fenotip 3 hijau : 1 kuning. Pada perkawinan resiprokal digunakan serbuk sari yang berasal dari tanaman berbuah polong kuning dan diberikan kepada bunga dari tanaman berbuah polong hijau.

P : $\text{♀hh}$ (Kuning)	$><$	$\text{♂HH}$ (Hijau)	Resiprokalnya:
	$\downarrow$		P : $\text{♀HH}$ (Hijau) $><$ $\text{♂hh}$ (Kuning)
$F_1$ : $Hh$ (Hijau)			$F_1$ : $Hh$ (Hijau)
Gimet $\text{♂} = H$ dan $h$			Gimet $\text{♂} = H$ dan $h$
Gimet $\text{♀} = H$ dan $h$			Gimet $\text{♀} = H$ dan $h$
$F_2$ : $HH$ : polong hijau			$F_2$ : $HH$ : polong hijau
$Hh$ : polong hijau			$Hh$ : polong hijau
$Hh$ : polong hijau			$Hh$ : polong hijau
$hh$ : polong kuning			$hh$ : polong kuning

### 3. Perkawinan Balik (*Back Cross*)

Perkawinan balik (*back cross*) adalah perkawinan antara individu  $F_1$  dengan salah satu induknya, induk betina atau jantan. *Back cross* berguna untuk mencari genotip induk.

Contoh: Marmot mempunyai gen B yang menunjukkan pembawa sifat warna bulu hitam dan gen b yang menunjukkan pembawa sifat warna bulu putih. Induk jantan mempunyai bulu berwarna hitam homozigot disilangkan dengan induk betina mempunyai bulu berwarna putih homozigot kemudian dilanjutkan dengan perkawinan balik. Genotip  $F_2$  hasil perkawinan balik dapat ditentukan melalui langkah-langkah berikut.

P :	♀ BB (Hitam)	><	♂ bb (Putih)									
		↓										
$F_1$ :	Bb (Hitam)											
<i>Back cross</i>	♀ BB (Induk) >< (Hitam)	↓	♂ Bb (Hitam)									
$F_2$ :	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>♀ ♂</td><td>B</td><td></td></tr><tr><td>B</td><td>BB (Hitam)</td><td></td></tr><tr><td>b</td><td>Bb (Hitam)</td><td></td></tr></table>	♀ ♂	B		B	BB (Hitam)		b	Bb (Hitam)			
♀ ♂	B											
B	BB (Hitam)											
b	Bb (Hitam)											

Jadi, induk memiliki genotip homozigot dominan BB.

atau	♀ Bb (Hitam)	><	♂ bb (Induk) (Putih)						
		↓							
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>♀ ♂</td><td>B</td><td>b</td></tr><tr><td>b</td><td>Bb (Hitam)</td><td>bb (Putih)</td></tr></table>	♀ ♂	B	b	b	Bb (Hitam)	bb (Putih)		
♀ ♂	B	b							
b	Bb (Hitam)	bb (Putih)							

Jadi, induk memiliki genotip homozigot resesif bb.

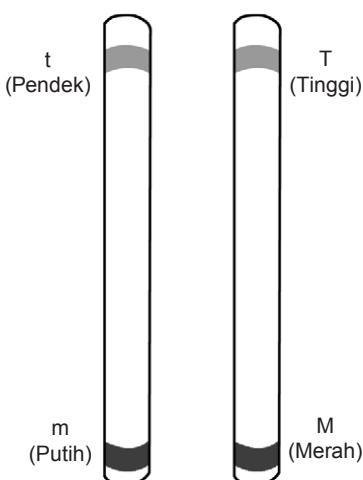
### 4. Uji Silang (*Test Cross*)

Uji silang adalah perkawinan antara individu  $F_1$  (hibrid) dengan individu yang dobel resesif atau homozigot resesif. *Test cross* berguna untuk mengetahui apakah suatu individu bergenotip homozigot (galur murni) atau heterozigot.

P :	♂ BB (Hitam)	><	♀ bb (Putih)
		↓	
$F_1$ :	Bb (Hitam)		

<i>Test cross:</i>	♂ Bb (Hitam)	><	♀ bb (Putih)
		↓	

♀ ♂	B	b
b	Bb (Hitam)	bb (Putih)



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 5.6**

Alel ganda



### Eksperimen Plus

#### Diagram Perkawinan

Buatlah diagram perkawinan antara kedua orang tua Anda sehingga mendapatkan golongan darah seperti yang Anda miliki.



Kelinci normal



Kelinci himalaya



Kelinci chinchilla



Kelinci albino

Sumber: Biology, Mader S.S

**Gambar 5.7**

Warna rambut kelinci ditentukan oleh alel ganda

Perkawinan *test cross* menghasilkan keturunan dengan perbandingan 1 : 1. Jika hasil keturunan  $F_1$  menghasilkan perbandingan fenotip 1 : 1, berarti individu yang diuji bergenotip heterozigot. Sebaliknya, jika *test cross* 100% berfenotip sama, berarti individu yang diuji bersifat homozigot (galur murni).

## 5. Alel Ganda

Alel adalah gen-gen yang terletak pada lokus yang sama (bersesuaian) dalam kromosom homolog. Alel merupakan anggota dari sepasang gen yang memiliki pengaruh berlawanan. Jadi, alel adalah gen-gen yang terletak pada lokus yang sama dan menentukan sifat yang sama atau hampir sama. Misalnya T menentukan sifat tinggi pada batang, sedangkan t menentukan batang pendek maka T dan t merupakan alel. Namun, seandainya m merupakan gen yang menentukan warna putih pada bunga maka T dan m bukan alel. Alel dalam kromosom sering digambarkan seperti Gambar 5.6. Apabila sebuah lokus dalam sebuah kromosom ditempati oleh beberapa alel atau suatu seri alel maka dinamakan **alel ganda**. Contoh alel ganda yaitu pewarisan golongan darah pada manusia dan pada rambut kelinci.

### a. Pewarisan Golongan Darah pada Manusia

Berdasarkan penggolongan darah sistem ABO, darah manusia digolongkan menjadi empat, yaitu golongan darah A, B, AB, dan O. Penggolongan darah ini didasarkan atas macam antigen dalam eritrosit. Antigen-antigen itu diwariskan oleh seri alel ganda dengan simbol I. Huruf I ini berasal dari kata isoaglutinin, yaitu antigen yang mengakibatkan empat golongan darah tersebut.

Perhatikan Tabel 5.5 berikut.

**Tabel 5.5 Penggolongan Darah Manusia**

Golongan Darah (Fenotip)	Antigen dalam Eritrosit	Antibodi dalam Serum	Alel dalam Kromosom	Genotip
A	A	Anti-B	I <sup>A</sup>	I <sup>A</sup> I <sup>A</sup> atau I <sup>A</sup> I <sup>O</sup>
B	B	Anti-A	I <sup>B</sup>	I <sup>B</sup> I <sup>B</sup> atau I <sup>B</sup> I <sup>O</sup>
AB	A dan B	-	I <sup>A</sup> , I <sup>B</sup>	I <sup>A</sup> I <sup>B</sup>
O	-	Anti-A dan anti-B	I <sup>O</sup>	I <sup>O</sup> I <sup>O</sup>

Gen I<sup>A</sup> dominan terhadap I<sup>O</sup>.

Gen I<sup>B</sup> dominan terhadap I<sup>O</sup>.

I<sup>A</sup> dan I<sup>B</sup> sama-sama dominan terhadap I<sup>O</sup> sehingga genotip I<sup>A</sup>I<sup>B</sup> menunjukkan golongan darah AB. Jadi, gen I<sup>O</sup> mempunyai alel I<sup>A</sup> dan alel I<sup>B</sup>.

### b. Alel Ganda Penentu Rambut Kelinci

Perhatikan berbagai warna rambut bulu kelinci pada Gambar 5.7 di samping. Alel ganda pada kelinci terdapat pada gen penentu warna rambut.

Gen K : kelinci normal berwarna kelabu.

Gen K<sup>ch</sup>: kelinci chinchilla berwarna kelabu muda.

Gen  $K^h$  : kelinci himalaya berwarna putih, ujung hidung, ujung telinga, ekor, dan kaki berwarna kelabu gelap.

Gen  $k$  : kelinci albino (tak berpigmen) berwarna putih.

Pada keempat gen tersebut berlaku ketentuan sebagai berikut.

- 1) Kelabu dominan terhadap ketiga warna yang lain.
- 2) Kelabu muda dominan terhadap himalaya dan albino.
- 3) Himalaya dominan terhadap albino.
- 4) Albino merupakan gen resesif.

Kemungkinan Genotip	Fenotip
$KK$ , $KK^{ch}$ , $KK^h$ , $Kk$ $K^{ch}K^{ch}$ , $K^{ch}K^h$ , $K^{ch}k$	Kelabu (normal) Kelabu muda (chinchilla)
$K^hK^h$ , $K^hk$ $kk$	Himalaya Albino

#### Contoh:

Kelinci chinchilla disilangkan dengan kelinci himalaya.

$$\begin{array}{lll} P & : & \text{♀ } K^{ch}k \\ & & >< \\ \text{Gamet} & : & \begin{array}{ccc} K^{ch} & & K^h \\ k & \downarrow & k \end{array} \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} F_1 & : & \begin{array}{l} K^{ch}K^h : \text{kelinci chinchilla.} \\ K^{ch}k : \text{kelinci chinchilla.} \\ K^hk : \text{kelinci himalaya.} \\ kk : \text{kelinci albino.} \end{array} \end{array}$$

### Uji Kompetensi A

Jawablah soal-soal berikut.

1. Mengapa Mendel lebih memilih kacang ercis sebagai objek penelitiannya?
2. Diketahui gen B (hitam) lebih dominan terhadap gen b (putih) dan P (panjang) dominan terhadap p (pendek). Apabila induk jantan bergenotip hitam dan panjang homozigot disilangkan dengan induk betina bergenotip putih heterozigot, bagaimanakah perbandingan genotip dan fenotip  $F_2$ ?
3. Coba terangkan perbedaan hukum I dan II Mendel.

4. Uji silang dapat digunakan untuk mengetahui apakah suatu individu bergenotip homozigot atau heterozigot maka kita dapat melakukan uji silang. Apa maksudnya? Berikan contohnya.
5. Pada suatu malam di sebuah rumah sakit telah lahir empat bayi. Keempat bayi tersebut bergolongan darah O, A, B, dan AB. Empat pasang orang tua mereka bergolongan darah:
  - (a) O dan O, (c) A dan B, dan
  - (b) AB dan O, (d) B dan B.
 Carilah pasangan orang tua yang sesuai untuk tiap-tiap bayi itu.

Para ilmuwan dalam melakukan beberapa percobaan mengalami penyimpangan terhadap hukum Mendel. Indikasi penyimpangan itu ditunjukkan dengan berubahnya perbandingan fenotip keturunan yang tidak sesuai hukum Mendel. Mengapa hal itu dapat terjadi?

### B. Penyimpangan Hukum Mendel

Para ilmuwan melihat adanya penyimpangan terhadap hukum Mendel. Ternyata penyimpangan ini hanya merupakan penyimpangan semu karena pola dasarnya sama dengan hukum Mendel tersebut. Perubahan atau penyimpangan yang terjadi meliputi penyimpangan semu, pautan gen, pautan seks, pindah silang, determinasi seks, gen letal, dan gagal berpisah (*nondisjunction*).

## 1. Penyimpangan Semu

Beberapa peristiwa yang menunjukkan penyimpangan semu di antaranya epistasis dan hipostasis, kriptomeri, interaksi beberapa pasangan alel, polimeri, serta gen komplementer.

### a. Epistasis dan Hipostasis

Epistasis dan hipostasis merupakan salah satu bentuk interaksi gen dalam hal ini gen dominan mengalahkan gen dominan lainnya yang bukan sealel. Gen dominan yang menutup ekspresi gen dominan lainnya disebut **epistasis**, sedangkan gen dominan yang tertutup itu disebut **hipostasis**. Peristiwa epistasis dan hipostasis terjadi pada warna umbi lapis pada bawang (*Allium sp.*), warna kulit gandum, warna bulu ayam, warna rambut mencit, dan warna mata pada manusia. Peristiwa epistasis dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu epistasis dominan, epistasis resesif, serta epistasis dominan dan resesif.

### **1) Epistasis Dominan**

Pada epistasis dominan terdapat satu gen dominan yang bersifat epistasis. Misalnya warna umbi lapis pada bawang (*Allium* sp.). A merupakan gen untuk umbi merah dan B merupakan gen untuk umbi kuning. Gen merah dan kuning dominan terhadap putih.

Perkawinan antara tanaman bawang berumbi lapis kuning homozigot dengan yang merah homozigot menghasilkan tanaman  $F_1$  yang berumbi lapis merah. Keturunan  $F_2$  terdiri atas 16 kombinasi dengan

perbandingan  $\frac{12}{16}$  merah :  $\frac{3}{16}$  kuning :  $\frac{1}{16}$  putih atau  $12 : 3$

: 1. Perbandingan itu terlihat menyimpang dari hukum Mendel, tetapi ternyata tidak. Perbandingan  $9 : 3 : 3 : 1$  untuk keturunan perkawinan dihibrid hanya mengalami modifikasi saja, yaitu  $9 : 3 : 3 : 1$  menjadi  $12 : 3 : 1$ . Perhatikan diagram persilangan berikut.

P	:	♀ AAbb (Merah)	><	♂ aaBB (Kuning)
			↓	
F <sub>1</sub>	:	AaBb		
			(Merah)	



## 2) Epistasis Resesif

Pada peristiwa epistasis resesif terdapat suatu gen resesif yang bersifat epistasis terhadap gen dominan yang bukan alelnya (pasangannya). Gen resesif tersebut harus dalam keadaan homozigot, contohnya pada pewarisan warna rambut tikus. Gen A menentukan warna hitam, gen a menentukan warna abu-abu, gen C menentukan enzim yang menyebabkan timbulnya warna dan gen c yang menentukan enzim penghambat munculnya warna. Gen C bersifat epistasis. Jadi, tikus yang berwarna hitam memiliki gen C dan A. Perhatikan diagram persilangan berikut.

P :	CCAA (Hitam)	><	ccaa (Putih)
Gamet :	CA	↓	ca
F <sub>1</sub> :	CcAa (Hitam)		
F <sub>2</sub> : Diperoleh perbandingan genotip sebagai berikut.			
9 C_A_ : hitam 3 C_aa : abu-abu 3 ccA_ : putih 1 ccaa : putih			

Jadi, perbandingan fenotip F<sub>2</sub> = hitam : abu-abu : putih = 9 : 3 : 4.

Pada epistasis resesif,  
CC epistasis terhadap  
A dan a.



I epistasis terhadap C dan c.  
cc epistasis terhadap I dan i.



## 3) Epistasis Dominan dan Resesif

Epistasis dominan dan resesif (*inhibiting gene*) merupakan penyimpangan semu yang terjadi karena terdapat dua gen dominan yang jika dalam keadaan bersama akan menghambat pengaruh salah satu gen dominan tersebut. Peristiwa ini mengakibatkan perbandingan fenotip F<sub>2</sub> = 13 : 3. Contohnya ayam leghorn putih mempunyai fenotip IICC dikawinkan dengan ayam *white silkre* berwarna putih yang mempunyai genotip iicc. Perhatikan diagram berikut.

P :	♂IICC (Putih)	><	♀iicc (Putih)
Gamet :	IC	↓	ic
F <sub>1</sub> :			IiCc

♀ ♂ \ ♂	IC	Ic	iC	ic
IC	IICC putih	IICc putih	iiCC berwarna	iiCc berwarna
Ic	IICc putih	IIcc putih	iiCc berwarna	iicc putih
iC	iiCC berwarna	iiCc berwarna	iiCC berwarna	iiCc berwarna
ic	iiCc berwarna	iicc putih	iiCc berwarna	iicc putih

**Catatan:**

- C = gen yang menghasilkan warna.  
c = gen yang tidak menghasilkan warna (ayam menjadi putih).  
I = gen yang menghalangi keluarnya warna (gen ini disebut juga gen penghalang atau inhibitor).  
i = gen yang tidak menghalangi keluarnya warna.

Coba perhatikan diagram hasil persilangan  $F_1$  di atas. Meskipun gen C mempengaruhi munculnya warna bulu, tetapi karena bertemu dengan gen I (gen yang menghalangi munculnya warna), maka menghasilkan keturunan dengan fenotip ayam berbulu putih. Jadi, perbandingan fenotip:

$$F_2 = \text{ayam putih} : \text{ayam berwarna}$$

$$= \frac{13}{16} : \frac{3}{16} = 13 : 3$$

**b. Kriptomeri**

Kriptomeri adalah peristiwa gen dominan yang seolah-olah tersembunyi bila berada bersama dengan gen dominan lainnya, dan akan terlihat bila berdiri sendiri.

**Correns** pernah menyilangkan tumbuhan *Linaria maroccana* berbunga merah galur murni dengan yang berbunga putih juga galur murni. Dalam persilangan tersebut diperoleh  $F_1$  semua berbunga ungu, sedangkan  $F_2$  terdiri atas tanaman dengan perbandingan berbunga ungu : merah : putih = 9 : 3 : 4.

Warna bunga *Linaria* (ungu, merah, dan putih) ditentukan oleh pigmen hemosianin yang terdapat dalam plasma sel dan sifat keasaman plasma sel. Pigmen hemosianin akan menampilkan warna merah dalam plasma atau air sel yang bersifat asam dan akan menampilkan warna ungu dalam plasma sel yang bersifat basa.

Warna bunga *Linaria maroccana* ditentukan oleh ekspresi gen-gen berikut.

- 1) Gen A, menentukan ada bahan dasar pigmen antosianin.
- 2) Gen a, menentukan tidak ada bahan dasar pigmen antosianin.
- 3) Gen B, menentukan suasana basa pada plasma sel.
- 4) Gen b, menentukan suasana asam pada plasma sel.

Persilangan antara *Linaria maroccana* bunga merah dengan bunga putih menghasilkan keturunan seperti dijelaskan pada diagram berikut.

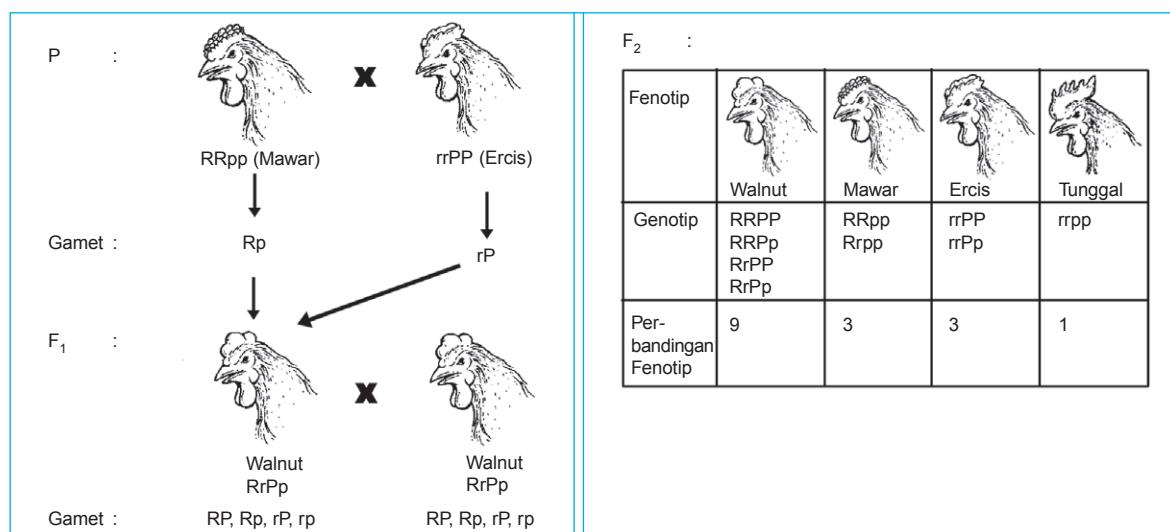
P	:	AAbb	><	aaBB
		(Merah)		(Putih)
Gamet :		Ab		aB
$F_1$	:		AaBb	
			(Ungu)	

$F_2$ : $\begin{matrix} \text{♀} & \text{♂} \\ \backslash & / \end{matrix}$	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB ungu	AABb ungu	AaBB ungu	AaBb ungu
Ab	AABb ungu	AAbb merah	AaBb ungu	Aabb merah
aB	AaBB ungu	AaBb ungu	aaBB putih	aaBb putih
ab	AaBb ungu	Aabb merah	aaBb putih	aabb putih

Persilangan tersebut dihasilkan rasio fenotip  $F_2$  = ungu : merah : putih = 9 : 3 : 4.

### c. Interaksi Beberapa Pasangan Alel (Atavisme)

Pada permulaan abad ke-20, **W. Baterson** dan **R.C. Punnet** menyilangkan beberapa varietas ayam negeri, yaitu ayam berpijal gerigi (mawar), berpijal biji (ercis), dan berpijal bilah (tunggal). Pada persilangan antara ayam berpijal mawar dengan ayam berpijal ercis, menghasilkan semua ayam berpijal sumpel (walnut) pada keturunan  $F_1$ . Varietas ini sebelumnya belum dikenal. Pada keturunan  $F_2$  diperoleh empat macam fenotip, yaitu ayam berpijal walnut, berpijal mawar, berpijal ercis, dan berpijal tunggal dengan perbandingan 9 : 3 : 3 : 1. Perbandingan ini sama dengan perbandingan  $F_2$  pada pembastaran dihibrid. Perhatikan diagram persilangan di bawah.



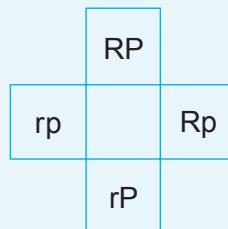
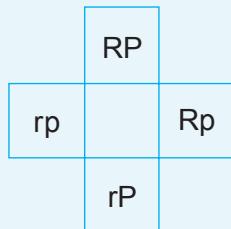
Berdasarkan diagram persilangan tersebut terdapat penyimpangan dibandingkan dengan persilangan dihibrid. Penyimpangan yang dimaksud bukan mengenai perbandingan fenotip, tetapi munculnya sifat baru pada  $F_1$  dan  $F_2$ . Keturunan  $F_1$  berfenotip ayam berpijal walnut atau sumpel,

tidak menyerupai salah satu induknya. Sifat pial sumpel atau walnut ( $F_1$ ) merupakan interaksi dua faktor dominan yang berdiri sendiri-sendiri dan sifat pial tunggal ( $F_2$ ) sebagai hasil interaksi dua faktor resesif. Lakukan kegiatan berikut agar Anda lebih memahami interaksi gen.



### Eksperimen 3

#### Membuat Persilangan Interaksi Gen Menggunakan Baling-Baling Genetika



##### Keterangan:

R = Gen ayam berpial gerigi (mawar).

P = Gen ayam berpial biji (ercis).

Buatlah 2 buah baling-baling seperti gambar di atas. Huruf-huruf yang terdapat pada kotak-kotak tersebut diasumsikan sebagai gamet-gamet ayam berpial sumpel (walnut) yaitu RP, Rp, rP, dan rp. Lakukan langkah-langkah eksperimen ini dengan urutan sebagai berikut.

- Putarlah kedua baling-baling bersamaan. Kemudian hentikan secara acak.
- Catatlah gamet-gamet yang bertemu (berhadapan). Misal seperti gambar di atas, gamet yang bertemu adalah Rp – rp. Lakukan langkah nomor 1 dan 2 tersebut paling sedikit 96 kali.

- Lengkapilah tabel di bawah ini berdasarkan hasil yang Anda peroleh dari langkah 1 dan 2.

No.	Genotip	Fenotip	Jumlah
1.	RRPP		
2.	RRPp		
3.	RRpp		
4.	RrPP		
5.	RrPp		
6.	Rrpp		
7.	rrPP		
8.	rrPp		
9.	rrpp		

##### Keterangan:

R–P– = pial sumpel (walnut).

R–pp = pial bergerigi (mawar).

rrP– = pial biji (ercis).

rrpp = pial tunggal.

- Bandangkan frekuensi genotip dan fenotipnya, bandingkan pula hasilnya dengan perbandingan menurut Mendel.

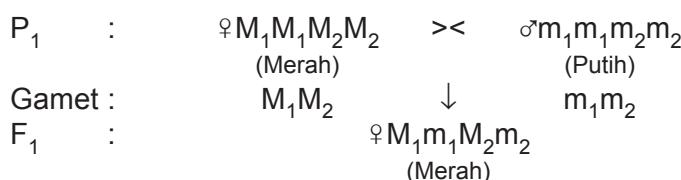
##### Pertanyaan:

- Berapa perbandingan genotip dan fenotip  $F_2$ ?
- Samakah perbandingan tersebut dengan perbandingan menurut Mendel?

Buatlah laporan tertulis hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru Anda.

#### d. Polimeri

Polimeri adalah pembastaran heterozigot dengan banyak sifat beda yang berdiri sendiri-sendiri, tetapi mempengaruhi bagian yang sama pada suatu organisme. Peristiwa polimeri pertama kali dilaporkan oleh **Nelson-Ehle**, melalui percobaan persilangan antara gandum berbiji merah dengan gandum berbiji putih. Perhatikan diagram persilangan berikut.



$$P_2 : \quad \text{♀} M_1 m_1 M_2 m_2 \quad >< \quad \text{♂} M_1 m_1 M_2 m_2$$

$\text{♀}$	$\text{♂}$	$M_1 M_2$	$M_1 m_2$	$m_1 M_2$	$m_1 m_2$
$M_1 M_2$		$M_1 M_1 M_2 M_2$ merah			
$M_1 m_2$		$M_1 M_1 M_2 m_2$ merah			
$m_1 M_2$		$M_1 m_1 M_2 M_2$ merah			
$m_1 m_2$		$M_1 m_1 M_2 m_2$ merah	$M_1 m_1 m_2 m_2$ merah	$m_1 m_1 M_2 m_2$ merah	$m_1 m_1 m_2 m_2$ putih

Jadi, polimeri menghasilkan rasio fenotip  $F_2 = \text{merah} : \text{putih} = 15 : 1$ .



Berdasarkan diagram di atas dihasilkan perbandingan genotip  $F_2$  sebagai berikut.

$$9 M_1 M_2 - = \text{merah} \quad 3 m_1 M_2 - = \text{merah}$$

$$3 M_1 - m_2 m_2 = \text{merah} \quad 1 m_1 m_1 m_2 m_2 = \text{putih}$$

### e. Gen Komplementer

Gen komplementer adalah gen-gen yang berinteraksi dan saling melengkapi. Kehadiran gen-gen tersebut secara bersama-sama akan memunculkan karakter (fenotip) tertentu. Sebaliknya, jika salah satu gen tidak hadir maka pemunculan karakter (fenotip) tersebut akan terhalang atau tidak sempurna.

Perhatikan contoh berikut.

Pemunculan suatu pigmen merupakan hasil interaksi dua gen, yaitu gen C dan gen P.

Gen C : mengakibatkan munculnya bahan mentah pigmen.

Gen c : tidak menghasilkan pigmen.

Gen P : menghasilkan enzim pengaktif pigmen.

Gen p : tidak mampu menghasilkan enzim.

Perhatikan persilangan yang menunjukkan adanya gen komplementer antara individu CCpp (putih) dengan individu ccPP (putih) pada diagram berikut.

$P : \quad \text{CCpp}$	$><$	$\text{ccPP}$
(Putih)		(Putih)
Gamet :	$\text{Cp}$	$\text{cP}$
	$\downarrow$	
$F_1 : \quad \text{CcPp}$		
	(Ungu)	

Jadi, rasio fenotip  $F_2$  adalah 9 ungu : 7 putih.



$\text{♀}$	$\text{♂}$	CP	Cp	cP	cp
CP	CCPP 1 ungu	CCPp 2 ungu	CcPP 3 ungu	CcPp 4 ungu	
Cp	CCPp 5 ungu	CCpp 6 putih	CcPp 7 ungu	Ccpp 8 putih	
cP	CcPP 9 ungu	CcPp 10 ungu	ccPP 11 putih	ccPp 12 putih	
cp	CcPp 13 ungu	Ccpp 14 putih	ccPp 15 putih	ccpp 16 putih	

## f. Gen-Gen Rangkap yang Mempunyai Pengaruh Kumulatif

Miyake dan Imai (Jepang) menemukan bahwa pada tanaman gandum (*Hordeum vulgare*) terdapat biji yang kulitnya berwarna ungu tua, ungu, dan putih.

Jika gen dominan A dan B terdapat bersama-sama dalam genotip, kulit buah akan berwarna ungu tua. Bila terdapat salah satu gen dominan saja (A atau B), kulit buah berwarna ungu. Absennya gen dominan menyebabkan kulit buah berwarna putih. Perhatikan diagram persilangan berikut.

$P_1$	:	$\text{♀AABB}$ (Ungu tua)	$><$	$\text{♂aabb}$ (Putih)																										
Gamet :		AB	↓	ab																										
$F_1$	:		AbBb																											
			(Ungu tua)																											
$P_2$	:	$\text{♀AaBb}$ (Ungu tua)	$><$	$\text{♂AaBb}$ (Ungu tua)																										
Gamet :		AB, Ab aB, ab	↓	AB, Ab aB, ab																										
$F_2$	:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 2px;"><math>\text{♀} \swarrow \text{♂}</math></th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">AB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; padding: 2px;">AB</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">AABB ungu tua</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 2px;">Ab</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">AABb ungu tua</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">AAbb ungu</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">AaBb ungu tua</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">Aabb ungu</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 2px;">aB</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">AaBB ungu tua</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">AaBb ungu tua</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">aaBB ungu</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">aaBb ungu</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 2px;">ab</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">AaBb ungu tua</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">Aabb ungu</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">aaBb ungu</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">aabb putih</td> </tr> </tbody> </table>				$\text{♀} \swarrow \text{♂}$	AB	Ab	aB	ab	AB	AABB ungu tua	AABb ungu tua	AaBB ungu tua	AaBb ungu tua	Ab	AABb ungu tua	AAbb ungu	AaBb ungu tua	Aabb ungu	aB	AaBB ungu tua	AaBb ungu tua	aaBB ungu	aaBb ungu	ab	AaBb ungu tua	Aabb ungu	aaBb ungu	aabb putih
$\text{♀} \swarrow \text{♂}$	AB	Ab	aB	ab																										
AB	AABB ungu tua	AABb ungu tua	AaBB ungu tua	AaBb ungu tua																										
Ab	AABb ungu tua	AAbb ungu	AaBb ungu tua	Aabb ungu																										
aB	AaBB ungu tua	AaBb ungu tua	aaBB ungu	aaBb ungu																										
ab	AaBb ungu tua	Aabb ungu	aaBb ungu	aabb putih																										

Jadi, perbandingan fenotip  $F_2$  antara ungu tua : ungu : putih = 9 : 6 : 1.



Berdasarkan diagram di atas dihasilkan perbandingan genotip  $F_2$  sebagai berikut.

9 A\_B\_ = ungu tua

3 A\_bb = ungu

3 aaB\_ = ungu

1 aabb = putih

Setelah Anda mencermati uraian mengenai berbagai penyimpangan semu terhadap hukum Mendel, lakukan Tugas mandiri berikut agar Anda mendapatkan wawasan yang lebih luas.



### Tugas Mandiri

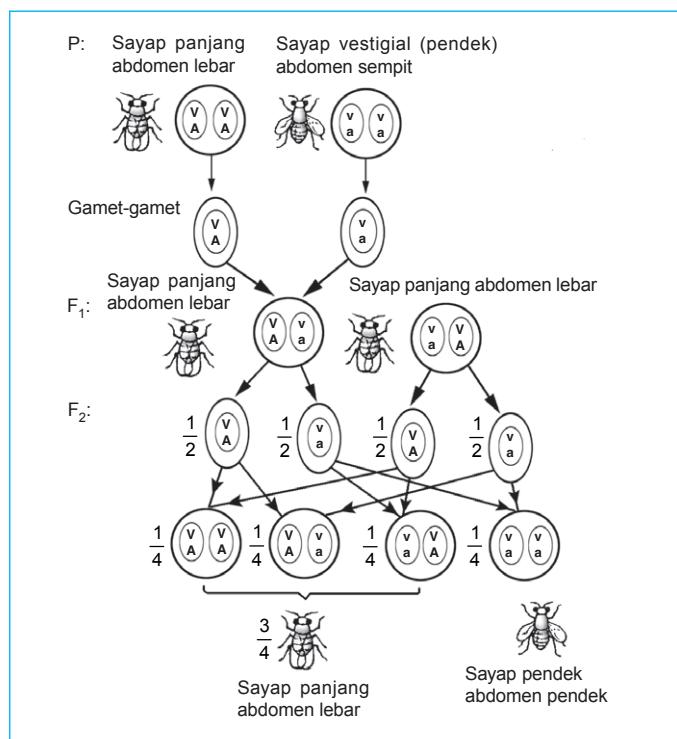
Kumpulkan beberapa artikel tentang Hereditas dengan tema penyimpangan semu terhadap hukum Mendel. Selanjutnya, pilih salah satu artikel yang menarik bagi Anda, dan tulislah dengan bahasa Anda sendiri. Presentasikan hasilnya di depan kelas.

## 2. Pautan Gen (Gen Linkage)

Pautan gen merupakan salah satu penyimpangan terhadap hukum Mendel. Pada peristiwa ini, dua gen atau lebih terletak pada satu kromosom dan tidak dapat memisahkan diri secara bebas. Hal ini terjadi karena gen-gen yang mengendalikan dua sifat beda terletak pada kromosom yang sama dengan letak lokus yang berdekatan.

Contoh peristiwa pautan terdapat pada *Drosophila melanogaster*, yang dilaporkan pertama kali oleh **T.H. Morgan**. *Drosophila melanogaster* memiliki empat pasang kromosom dalam inti selnya dan memiliki banyak gen yang semua berada pada kromosom sehingga tiap kromosom mengandung banyak gen.

Fakta menjelaskan bahwa faktor pembawa sifat panjang sayap dan lebar abdomen terletak pada kromosom yang sama dan diturunkan bersama-sama. Dengan perkataan lain, gen yang mengatur ukuran panjang sayap bertaut dengan gen yang mengatur ukuran lebar abdomen. Perhatikan diagram persilangan pada Gambar 5.8 di bawah ini.



Sumber: Biology, Raven & Johnson

**Gambar 5.8**

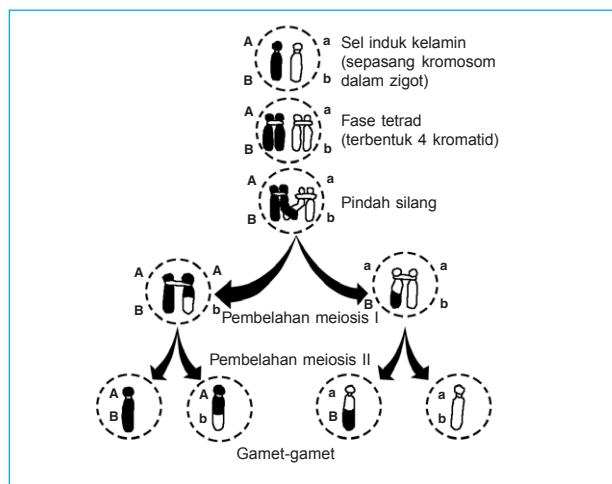
Diagram peristiwa pautan pada lalat buah

Gen-gen untuk ukuran sayap dan ukuran abdomen terletak pada kromosom yang sama dan tidak dapat disegregasikan secara bebas. Gen V (sayap panjang) dominan terhadap gen v (sayap pendek), dan gen A (abdomen lebar) dominan terhadap gen a (abdomen sempit). Rasio fenotip F<sub>2</sub> pada peristiwa pautan 3 : 1 untuk sayap panjang-abdomen lebar : sayap pendek-abdomen pendek.

### 3. Pindah Silang (*Crossing Over*)

Pindah silang terjadi apabila ada pertukaran sebagian gen-gen suatu kromatid dengan gen-gen dari kromatid pasangan homolognya. Pada peristiwa meiosis, kromatid yang berdekatan dengan kromosom homolog tidak selalu berjajar, berpasangan, dan beraturan, tetapi kadang-kadang saling melilit yang satu dengan yang lainnya. Hal ini sering mengakibatkan sebagian gen-gen suatu kromatid bertukar dengan gen-gen kromatid homolognya. Peristiwa ini disebut pindah silang atau *crossing over*. Akibat peristiwa pindah silang ini, jumlah macam fenotip hasil uji silang (*test cross*) tidak 1 : 1. Macam gamet yang dihasilkan  $F_1$  tidak dua macam, tetapi empat macam. Dua gamet memiliki gen-gen yang seperti pada induknya, disebut **gamet tipe parental**. Dua gamet lainnya berbeda dengan induknya dan merupakan hasil pindah silang, disebut **gamet tipe rekombinasi**.

Perhatikan bagan gametogenesis pada Gambar 5.9 yang menggambarkan terjadinya pindah silang antara satu pasang kromosom yang membawa gen AaBb dan menghasilkan empat macam gamet.



Sumber: Biology, Raven & Johnson

Gambar 5.9

Diagram pindah silang pada *Drosophila*

Berdasarkan percobaan Morgan dan Bridges pada *Drosophila melanogaster*, dilaporkan adanya peristiwa pindah silang pada lalat betina, tetapi tidak terjadi pada lalat jantan. Morgan dan Bridges menyilangkan lalat buah jantan bermata merah-sayap normal (PPVV) dengan lalat buah betina bermata ungu-sayap keriput (ppvv). Setelah itu, dilakukan uji silang (*test cross*) terhadap keturunan  $F_1$  (PpVv), baik pada lalat buah jantan maupun betina. Perhatikan diagram persilangan berikut.

P :	$\text{♀ ppvv}$ (Mata ungu sayap keriput)	$><$	$\text{♂ PPVV}$ (Mata merah sayap normal)
$F_1$ :		↓	
		$\text{PpVv}$ (Mata merah sayap normal)	

Test cross pada lalat buah jantan:

P :	$\text{♂PpVv}$	$><$	$\text{♀ppvv}$
	(Mata merah sayap normal)		(Mata ungu sayap keriput)
	↓		
F <sub>1</sub> : PpVv : mata merah-sayap normal = 79			
ppvv : mata ungu-sayap keriput = 72		$\} 1 : 1$	

Test cross pada lalat buah betina:

P :	$\text{♀PpVv}$	$><$	$\text{♂ppvv}$
	(Mata merah sayap normal)		(Mata ungu sayap keriput)
	↓		
F : PpVv : mata merah-sayap normal = 382 = tipe parental			
Ppvv : mata ungu-sayap keriput = 16		$\} \text{tipe rekombinasi}$	
ppVv : mata ungu-sayap normal = 22		$\}$	
ppvV : mata ungu-sayap keriput = 353 = tipe parental			

Individu bergenotip tipe parental, yaitu PpVv (mata merah-sayap normal) dan ppvv (mata ungu-sayap keriput). Individu bergenotip tipe rekombinasi, yaitu Ppvv (mata merah-sayap keriput) dan ppVv (mata ungu-sayap normal). Besarnya nilai pindah silang (NPS) dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{NPS} = \frac{\text{Jumlah tipe rekombinasi}}{\text{Jumlah seluruh individu}} \times 100\%$$

Berdasarkan data percobaan Morgan dan Bridges di atas, besar nilai pindah silang dapat dihitung sebagai berikut.

$$\frac{16 + 22}{773} \times 100\% = 4,90\%$$

Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan pindah silang (*crossing over*) antargen sebesar 4,90%.

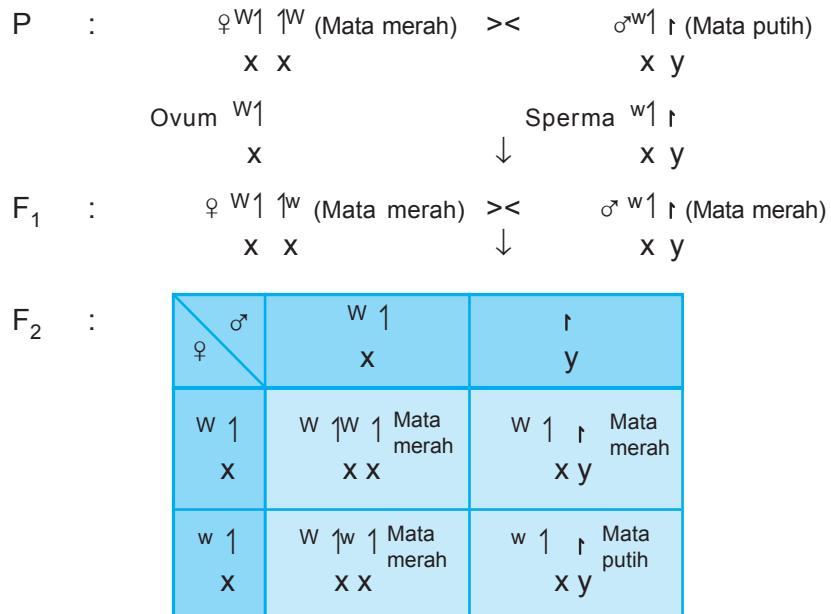
#### 4. Pautan Seks (Rangkai Kelamin)

Pada beberapa hewan dan manusia mempunyai suatu sifat keturunan yang pewarisannya ditentukan oleh kromosom kelamin. Hal ini terjadi karena gen tersebut terpaut pada kromosom kelamin. Peristiwa itu disebut **pautan seks** atau **rangkai kelamin**. Pautan seks menunjukkan adanya pewarisan sifat didasarkan pada gen yang terdapat pada kromosom seks.

##### a. Pautan Seks (Rangkai Kelamin) pada *Drosophila*

Pautan seks atau rangkai kelamin mula-mula ditemukan oleh **Morgan** melalui penyilangan lalat buah betina bermata merah dan lalat jantan bermata putih. Perkawinan tersebut menghasilkan keturunan (F<sub>1</sub>) bermata merah. Sementara itu, keturunannya (F<sub>2</sub>) memperlihatkan perbandingan 3 lalat bermata merah : 1 lalat bermata putih. Anehnya yang bermata putih selalu jantan. Hal ini menunjukkan adanya sifat dominan bermata merah terhadap warna mata putih.

Perhatikan diagram persilangan berikut.



Morgan menyusun hipotesis bahwa gen yang bertanggung jawab pada warna mata terdapat pada kromosom-X. Sementara itu, dalam kromosom-Y tidak terdapat gen yang bertanggung jawab atas warna mata. Faktor warna mata merah dominan terhadap faktor mata putih.

### b. Pautan Seks pada Manusia

Pada manusia, pautan seks dapat dibedakan pada gen resesif dengan gen dominan. Pautan seks pada gen resesif misalnya buta warna, hemofilia, anadontia. Sementara itu, pautan seks pada gen dominan misalnya gigi cokelat dan *hypertrichosis*. Hal ini akan dibahas dalam subbab hereditas pada manusia.

### c. Pautan Seks pada *Mammalia*

Pautan seks pada *Mammalia*, misalnya terjadi pada gen yang menentukan rambut kucing. Warna rambut kucing ditentukan oleh gen-gen berikut.

B = gen yang menentukan warna hitam.

b = gen yang menentukan warna kuning.

Bb = gen yang menentukan warna rambut belang tiga (hitam - kuning - putih) atau disebut **kaliko**. Perhatikan Gambar 5.10.

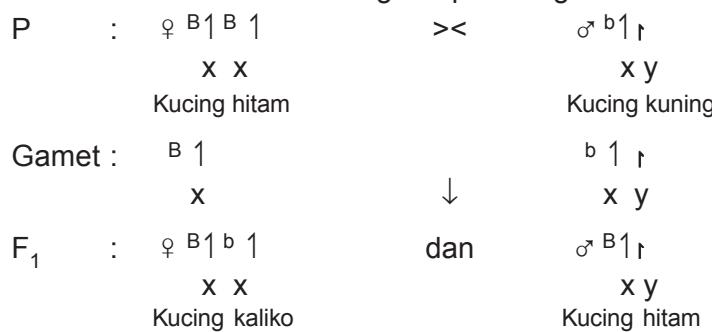
Kucing berambut belang tiga disebut kucing kaliko dan selalu betina. Perhatikan diagram persilangan berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 5.10**

Kucing kaliko



$P_2$	:	$\text{♀ } B1b1$ $x \quad x$ Kucing kaliko	$><$	$\text{♂ } B1t$ $x \quad y$ Kucing hitam
Gamet :		$B \quad 1 \quad b \quad 1$ $x \quad x$	$\downarrow$	$B \quad 1 \quad t$ $x \quad y$
$F_2$	:	$\text{♀ } B1B1 \quad \text{♀ } B1b1$ $x \quad x \quad x \quad x$ Hitam      kucing kaliko	$\text{♂ } B1t$ $x \quad x$ Hitam	$\text{♂ } b1t$ $x \quad y$ Kuning

#### d. Pautan Seks pada Ayam

Pautan seks pada ayam dengan penentuan jenis kelamin tipe ZO untuk ayam betina dan jantan ZZ. Warna bulu ayam ditentukan oleh gen-gen yang terpaut pada kromosom seks. Misalnya B = gen untuk bulu bergaris (blorok), b = gen untuk bulu polos.

Lakukan Tugas mandiri berikut agar Anda lebih memahami pautan seks pada ayam.



#### Tugas Mandiri

Perkawinan ayam jantan bulu polos dengan betina blorok menghasilkan keturunan berupa ayam jantan blorok dan betina bulu polos. Buatlah diagram persilangan pautan seks pada ayam tersebut.

### 5. Gen Letal

Gen letal adalah gen yang mengakibatkan kematian jika dalam keadaan homozigot. Gen letal dapat berupa homozigot dominan maupun resesif. Gen letal mengakibatkan keturunan menyimpang dari hukum Mendel, karena pada perkawinan monohibrid menghasilkan perbandingan fenotip 2 : 1, bukan 3 : 1. Contoh gen letal dominan sebagai berikut.

- Gen dominan C pada ayam. Ayam bergenotip CC letal (mati). Sementara itu, dalam keadaan heterozigot (Cc) menyebabkan ayam berkaki pendek disebut **redep (creeper)**. Ayam bergenotip cc bersifat normal.

$P$	:	$\text{♀ } Cc$ Creepers	$><$	$\text{♂ } Cc$ Creepers
			$\downarrow$	
$F_1$	:	1 CC → letal 2 Cc → Creeper 1 cc → normal		

Jadi, perbandingan fenotip keturunannya = creeper : normal = 2 : 1.

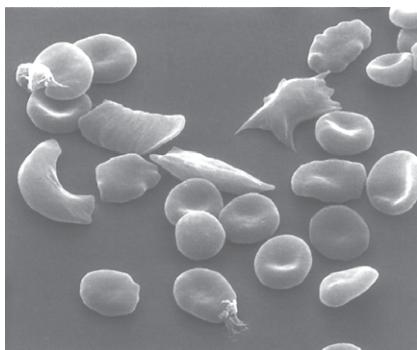
- Pada manusia terdapat gen B, yaitu gen penyebab jari pendek (*brakhidaktili*). Dalam keadaan heterozigot menyebabkan seseorang hanya mempunyai dua ruas jari. Sebaliknya, dalam keadaan homozigot menyebabkan seseorang dilahirkan tanpa jari tangan dan kaki, serta kerusakan rangka (*skeleton*) yang mengakibatkan kematian.

- c. Gen letal dominan Y pada tikus. Dalam keadaan homozigot dominan (YY) mengakibatkan tikus berpigmen kuning dan bersifat letal, sedangkan dalam keadaan homozigot resesif (yy) menghasilkan tikus normal dan berpigmen kelabu.

Contoh gen letal resesif sebagai berikut.

- a. Gen letal resesif g pada jagung yang merupakan pasangan alel dari gen dominan G. Individu yang memiliki gen resesif homozigot (gg) mempunyai daun lembaga yang tidak berklorofil. Akibatnya, kecambah akan mati.
- b. Gen letal resesif s yang mengakibatkan penyakit anemia sel sabit (*sickle cell*), yaitu sel darah merah penderita (manusia) berbentuk seperti sabit. Sel darah merah ini mempunyai kemampuan mengikat O<sub>2</sub> sangat rendah. Pertumbuhan individu homozigot resesif (ss) terhambat, jika mengalami infeksi dan peradangan dapat mengakibatkan kerusakan darah, bahkan dapat mengakibatkan kematian pada masa bayi atau anak-anak. Perhatikan Gambar 5.11.
- c. *Ichtyosis congenita*

Genotip homozigot resesif menyebabkan letal dan alelnya menentukan bayi normal. Penyakit ini terjadi karena bayi yang lahir kulitnya tebal, banyak luka berupa sobekan terutama pada lekukan-lekukan sehingga umumnya bayi mati dalam kandungan atau sewaktu dilahirkan.



Sumber: Biology for Advanced Level, Glenn and Susan Toole

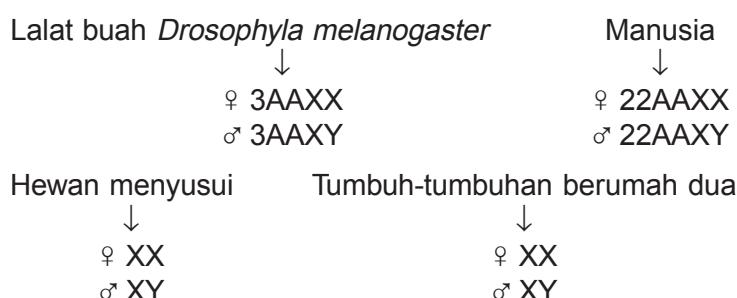
**Gambar 5.11**  
Sickle cell

### Berbagai Tipe Penentuan Jenis Kelamin

Cara menentukan jenis kelamin pada berbagai makhluk hidup tidak sama. Perhatikan Gambar 5.12 di halaman berikutnya. Beberapa tipe penentuan jenis kelamin makhluk hidup di antaranya sebagai berikut.

#### 1. Tipe XY

Cara penentuan jenis kelamin tipe XY, misalnya terdapat pada lalat buah, manusia, hewan menyusui, dan tumbuhan berumah dua.



#### 2. Tipe XO

Pada beberapa serangga anggota ordo *Orthoptera* dan *Heteroptera*, seperti belalang tidak memiliki kromosom-Y. Jadi, belalang jantan hanya memiliki sebuah kromosom-X saja, maka menjadi XO. Berbeda dengan lalat *Drosophila* jantan XO belalang jantan XO bersifat subur, sedangkan *Drosophila* jantan XO bersifat mandul. Belalang betina memiliki sepasang kromosom-X sehingga ditulis XX.

### 3. Tipe ZW

Pada beberapa jenis kupu-kupu, ikan, reptil, dan burung, memiliki kromosom kelamin yang berbeda. Kromosom kelamin pada hewan-hewan tersebut di atas yaitu **ZZ** dan **ZW**. ZZ merupakan hewan jantan. Sementara itu, ZW merupakan hewan betina. Jadi, semua spermatozoa mengandung kromosom kelamin Z. Sel telurnya ada kemungkinan mengandung kromosom kelamin Z dan ada kemungkinan mengandung kromosom kelamin W.

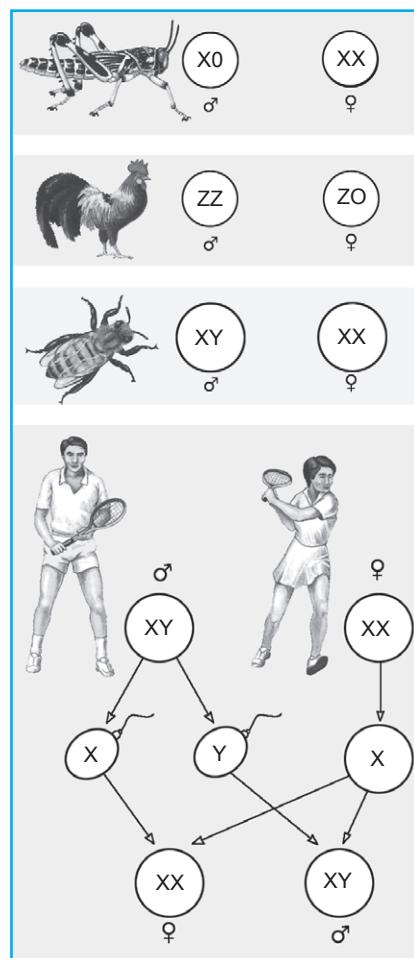
### 4. Tipe ZO

Susunan kromosom tipe ZO terdapat pada unggas (ayam, itik, dan sebagainya). Hewan betina hanya memiliki sebuah kromosom kelamin saja, tetapi bentuknya lain dengan yang dijumpai pada belalang. Kromosom kelamin ayam betina adalah **ZO** (heterogamet). Ayam jantan memiliki sepasang kromosom kelamin yang sama bentuknya sehingga tipe jenis kelaminnya **ZZ** (homogamet). Spermatozoa ayam hanya satu macam saja, yaitu membawa kromosom kelamin Z. Sel telurnya ada dua macam, mungkin membawa kromosom kelamin Z dan mungkin juga tidak memiliki kromosom kelamin sama sekali.

### 5. Tipe Haploid-Diploid

Serangga yang termasuk ordo *Hymenoptera* seperti lebah madu dan semut, penentuan jenis kelaminnya tidak berhubungan dengan kromosom kelamin. Lebah madu jantan terjadi karena partenogenesis, yaitu terbentuknya individu baru dari sel telur tanpa didahului pembuahan. Dengan demikian, lebah madu jantan bersifat haploid, yang memiliki 16 buah kromosom. Sel telur yang dibuahi oleh spermatozoa akan menghasilkan lebah madu betina yang berupa lebah ratu dan pekerja, masing-masing bersifat diploid dan memiliki 32 kromosom. Karena perbedaan tempat dan makanan, lebah ratu yang dihasilkan bersifat subur (fertil), sedangkan lebah pekerja mandul (steril).

Jelaslah bahwa jenis kelamin serangga-serangga tersebut tidak ditentukan oleh kromosom kelamin seperti yang lazim berlaku pada makhluk lainnya, tetapi tergantung dari sifat ploidi dari serangga itu. Serangga haploid berarti jantan, dan serangga diploid berarti betina.



Sumber: Biology, Campbell

Gambar 5.12

Tipe-tipe penentuan jenis kelamin

### Uji Kompetensi B

Jawablah soal-soal berikut.

1. Mengapa terjadi peristiwa gagal berpisah?
2. Dari perkawinan-perkawinan berikut ini, manakah yang menguntungkan?
  - a. ayam *creeper* >< ayam *creeper*
  - b. ayam *creeper* >< ayam normal
3. Bagaimanakah genotip dari kedua induknya dalam perkawinan walnut >< mawar, apabila dalam keturunan didapatkan perbandingan 3 mawar : 3 walnut : 1 ercis : 1 tunggal?
4. Apakah pautan seks itu? Berilah sebuah contoh peristiwa itu menggunakan diagram.

## C. Hereditas pada Manusia



### Tahukah Anda

**Tabel Sifat-Sifat Dominan atau Resesif yang Diturunkan**

Sifat-Sifat	Dominan	Resesif
rambut rambut bulu tubuh rambut warna kulit warna bola mata penglihatan penglihatan ukuran bibir ukuran mata pendengaran	keriting cokelat tua kasar botak (pada laki-laki) normal cokelat rabun jauh atau dekat normal lebar besar normal	lurus warna lain halus botak (pada wanita) albino biru atau abu-abu normal buta warna tipis sipit tulu

Ada beberapa penyakit yang dapat diturunkan dari orang tua kepada anak-anaknya misalnya asma, diabetes melitus, kelainan jantung, dan lain-lain. Para peneliti mengalami kesulitan untuk menyelidiki sifat keturunan pada manusia karena tidak mungkin mengawinkan pasangan satu dengan yang lain sekehendak hati. Berikut akan dipaparkan beberapa kendala yang dijumpai para peneliti dalam mempelajari genetika dengan objek manusia.

1. Jarang orang yang bersedia menjadi objek penelitian.
2. Umur atau daur hidup manusia panjang.
3. Jumlah keturunan manusia relatif sedikit.
4. Tidak dapat melalui percobaan karena norma tidak membenarkan.
5. Kondisi lingkungan tidak dapat dikontrol peneliti.
6. Peneliti mengalami kesulitan dalam meneliti dan mengontrol karakter yang berkaitan dengan kemauan.

Adanya kendala-kendala tersebut menyebabkan timbulnya cara lain dalam mempelajari genetika manusia. Beberapa cara yang umum dipergunakan sebagai berikut.

1. Menggunakan *pedigree* (peta silsilah) yaitu catatan sifat menurun dari generasi ke generasi secara beruntun.
2. Meneliti genetika pada hewan yang memiliki sifat atau karakter mirip dengan yang dimiliki manusia.
3. Mempelajari penurunan sifat pada anak kembar.

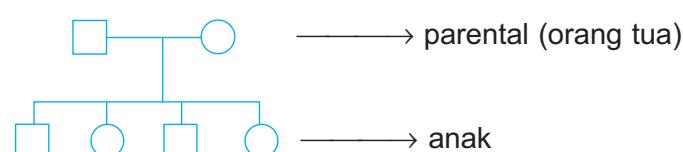
Sifat-sifat yang dimiliki orang tua diturunkan pada anaknya melalui pola pewarisan tertentu. Salah satu metode mempelajari penurunan sifat manusia yang banyak digunakan adalah dengan metode asal usul atau silsilah dalam bentuk *pedigree* (peta silsilah).

Simbol-simbol umum yang digunakan pada *pedigree* sebagai berikut.

= laki-laki

= wanita

atau → sifat (fenotip) yang diselidiki

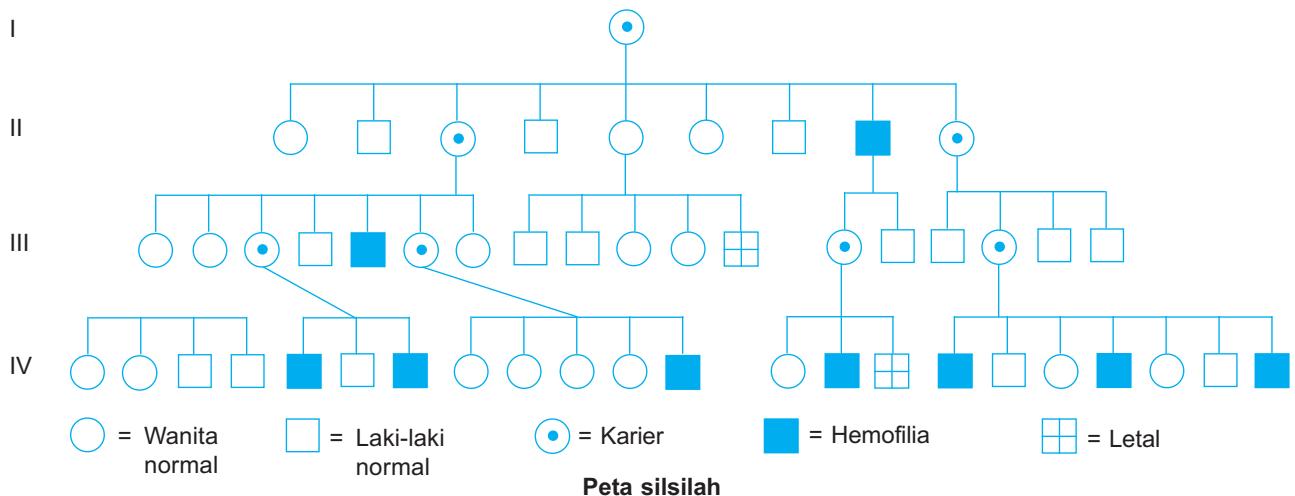


→ pembawa sifat atau karier



Angka romawi (I, II, III, . . . ) menunjukkan keturunan atau generasi ke . . . .

Berikut merupakan contoh peta silsilah untuk menelusuri penyakit hemofilia.



Cacat dan penyakit menurun pada manusia dapat disebabkan oleh gen yang terdapat pada autosom atau oleh gen yang terdapat pada kromosom seks (gonosom). Ciri cacat atau penyakit menurun yaitu tidak menular, sulit atau bahkan tidak dapat disembuhkan, tetapi dapat diusahakan agar tidak terjadi pada generasi berikutnya, dan umumnya disebabkan oleh gen resesif.

## 1. Cacat atau Penyakit Menurun yang Tidak Terpaut Kromosom Seks

Beberapa cacat dan kelainan menurun yang tidak terpaut kromosom seks atau bersifat autosomal, antara lain albinisme, polidaktili, fenilketonuria, diabetes melitus, *thalassemia*, *dentinogenesis imperfecta*, retinal aplasia, katarak, dan botak.

### a. Albinisme

Albinisme mengakibatkan individu mengalami kelainan kulit tubuh yang disebut **albino**. Albino merupakan kelainan genetika yang ditandai adanya abnormalitas pigmentasi kulit dan organ tubuh lainnya serta penglihatan yang sangat peka terhadap cahaya. Abnormalitas pigmentasi ini terjadi karena tubuh tidak mampu mensintesis enzim yang diperlukan untuk mengubah asam amino tirosin menjadi 3,4 dihidro fenilalanin, yang selanjutnya akan diubah menjadi pigmen melanin. Akibatnya, rambut dan kulitnya berwarna putih atau bule.

Gen albino dikendalikan oleh gen resesif *a* dan gen *A* menentukan sifat kulit normal. Penderita albino mempunyai genotip *aa*, sedangkan orang normal mempunyai fenotip *AA* atau *Aa*.

Perhatikan beberapa peristiwa persilangan berikut.

- 1) Pria albino (*aa*) menikah dengan wanita normal homozigot (*AA*). Kemungkinan genotip dan fenotip anak-anaknya sebagai berikut.

P :	$\text{♀ AA}$ (Normal)	$\times$	$\text{♂ aa}$ (Albino)
Gamet :	A		a
$F_1$ :		Aa	

(Normal)

Jadi, semua keturunan  $F_1$  normal.

- 2) Wanita normal heterozigot (Aa) menikah dengan pria normal heterozigot. Kemungkinan genotip dan fenotip anak-anaknya sebagai berikut.

P :	$\text{♀ Aa}$	$><$	$\text{♂ Aa}$
	(Normal)		(Normal)
Gamet :	A, a	↓	A, a
F <sub>1</sub> :	AA Aa Aa aa	} normal } normal } normal = albino	

Jadi, keturunan F<sub>1</sub> terdapat rasio fenotip normal : albino = 3 : 1.

### b. Polidaktili

Polidaktili adalah kelainan genetika yang ditandai banyaknya jari tangan atau jari kaki melebihi normal, misalnya jari tangan atau jari kaki berjumlah enam buah. Polidaktili dapat terjadi pada kedua jari tangan (kanan dan kiri) atau salah satu saja. Perhatikan Gambar 5.13.

Polidaktili disebabkan oleh gen dominan P sehingga penderita polidaktili mempunyai genotip PP atau Pp. Genotip orang berjari normal yaitu pp. Bagaimanakah pewarisan gen polidaktili? Perhatikan diagram persilangan berikut.

Seorang wanita menikah dengan pria polidaktili. Kemungkinan genotip dan fenotip akan-anaknya sebagai berikut.

P :	$\text{♀ pp}$	$><$	$\text{♂ Pp}$
	(Normal)		(Polidaktili)
Gamet :	p		P, p
F <sub>1</sub> :	Pp = polidaktili (50%) pp = normal (50%)		
P :	$\text{♀ pp}$	$><$	$\text{♂ PP}$
	(Normal)		(Polidaktili)
Gamet :	p		P
F <sub>1</sub> :	Pp = polidaktili (100%)		

### c. Fenilketonuria (FKU)

**Fenilketonuria** adalah kelainan genetika karena tubuh tidak mampu melakukan metabolisme fenilalanin. Akibatnya, fenilalanin tertimbun dalam darah dan dibuang bersama urine. Penderita fenilketonuria mengalami keterbelakangan mental dan ber-IQ rendah. Secara fisik penderita fenilketonuria bermata biru, berambut putih, dan kulitnya mirip albino.

Fenilketonuria disebabkan oleh gen resesif ph, sedangkan gen Ph menentukan sifat normal. Bagaimanakah cara pewarisan fenilketonuria? Perhatikan contoh berikut.

Pasangan suami istri normal heterozigot untuk fenilketonuria, kemungkinan genotip dan fenotip keturunannya (F<sub>1</sub>) sebagai berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 5.13**

Tangan penderita polidaktili

?

### Tahukah Anda

**Data Statistik Pengidap FKU**

Sampai saat ini, di Indonesia belum dapat diketahui jumlah pengidap FKU. Dari data statistik kasus FKU di Indonesia belum ditemukan. Namun, besar kemungkinan Indonesia memiliki cukup banyak pengidap. Sejauh ini di Cina terdapat 1 kasus FKU dari 16.500 kelahiran. Di Jepang terdapat 60 kasus FKU dari satu juta kelahiran.

P : ♀ Phph (Normal) >< ♂ Phph (Normal)

Gamet : Ph, ph Ph, ph

F<sub>1</sub> : 1 PhPh = normal (25%)

2 Phph = normal (50%)

1 phph = fenilketonuria (25%)

Jadi, rasio fenotip F<sub>1</sub> normal : fenilketonuria = 3 : 1.

#### d. Kemampuan Mengencap Phenylthiocarbamida (PTC)

*Phenylthiocarbamida* (PTC) yaitu suatu senyawa kimia yang rasanya pahit. Sebagian besar orang yang dapat merasakan rasa pahit PTC disebut **pengencap** atau **taster**, sedangkan sebagian lainnya yang tidak dapat merasakan pahit disebut **nontaster**. Gen T menentukan sifat perasa PTC dan alelnya gen t yang bersifat resesif menentukan seseorang tidak dapat merasakan PTC atau disebut **buta kecap**. Cara pewarisan perasa PTC dan bukan perasa PTC dapat dijelaskan dalam persilangan berikut.

- 1) Wanita perasa PTC (homozigotik) menikah dengan pria buta kecap, kemungkinan genotip dan fenotip anak-anaknya sebagai berikut.

P : ♀ TT >< ♂ tt  
(Perasa PTC) (Buta kecap)  
Gamet : T ↓ t  
F<sub>1</sub> : Tt

Jadi, semua keturunannya dapat merasakan PTC.

- 2) Pasangan suami istri keduanya perasa PTC heterozigotik. Kemungkinan genotip dan fenotip anak-anaknya sebagai berikut.

P : ♀ Tt >< ♂ Tt  
(Perasa PTC) (Perasa PTC)  
Gamet : T, t ↓ T, t  
F<sub>1</sub> : 1 TT } perasa PTC  
2 Tt }  
1 tt = buta kecap

Jadi, 75% anak-anaknya perasa PTC dan 25% buta kecap.

#### e. Thalassemia

*Thalassemia* merupakan kelainan genetika karena rendahnya pembentukan hemoglobin. Hal ini mengakibatkan kemampuan eritrosit untuk mengikat oksigen rendah. *Thalassemia* dikarenakan adanya kesalahan transkripsi mRNA dalam menerjemahkan kodon untuk asam amino globin.

*Thalassemia* disebabkan oleh gen dominan Th, sedangkan alelnya menentukan sifat normal. Penderita *thalassemia* bergenotip ThTh (*thalassemia major*) atau Thth (*thalassemia minor*). Penderita *thalassemia* mayor keadaannya lebih parah daripada *thalassemia* minor. Penderita *thalassemia* mayor biasanya bersifat letal (mati). Pewarisan *thalassemia* dijelaskan dalam contoh berikut.



#### Tahukah Anda

##### Perlunya Pemeriksaan Genetik Pranikah

Pembawa sifat penyakit *thalassemia* pada populasi masyarakat Indonesia berkisar antara 5–15%. Berarti, 10 dari 100 orang membawa sifat itu. Pada akhirnya, 25% kemungkinan anak yang lahir dari perkawinan antar-pembawa sifat itu akan mengidap *thalassemia major*. Pemeriksaan genetik pasangan yang akan menikah merupakan cara terbaik mencegah penurunan penyakit ini.

Seorang pria dan wanita sesama penderita *thalassemia* minor melakukan pernikahan. Bagaimanakah kemungkinan genotip dan fenotip anak-anaknya?

P :	$\text{♀ Thth}$	$><$	$\text{♂ Thth}$
Gamet :	$\text{Th, th}$	$\downarrow$	$\text{Th, th}$
$F_1$ :	$1 \text{ ThTh}$	= <i>thalassemia major</i> (25%)	
	$2 \text{ Thth}$	= <i>thalassemia minor</i> (25%)	
	$1 \text{ thth}$	= normal (25%)	

#### f. *Dentinogenesis Imperfecta*

*Dentinogenesis imperfecta* merupakan salah satu kelainan pada gigi, yaitu keadaan tulang gigi berwarna putih seperti air susu. Kelainan itu disebabkan oleh gen *Dt*, sedangkan gigi normal ditentukan oleh gen resesif *dt*. Penurunan sifat atau kelainan tersebut dijelaskan dalam contoh berikut.

- 1) Seorang pria normal (*dtdt*) menikah dengan wanita penderita *dentinogenesis imperfecta*. Kemungkinan genotip dan fenotip anak-anaknya sebagai berikut.

P :	$\text{♀ DtDt}$	$><$	$\text{♂ dtdt}$
Gamet :	$\text{Dt}$	$\downarrow$	$\text{dt}$
$F_1$ :	$\text{Dtdt}$	= menderita <i>dentinogenesis imperfecta</i> (100%)	

- 2) Pasangan suami istri sesama penderita *dentinogenesis imperfecta* heterozigot melakukan pernikahan. Kemungkinan genotip dan fenotip anak-anaknya sebagai berikut.

P :	$\text{♀ Dtdt}$	$><$	$\text{♂ Dtdt}$
Gamet :	$\text{Dt, dt}$	$\downarrow$	$\text{Dt, dt}$
$F_1$ :	$1 \text{ DtDt}$	} menderita	
	$2 \text{ Dtdt}$	} <i>dentinogenesis imperfecta</i> (75%)	
	$1 \text{ dtDt}$	= normal (25%)	

#### g. Katarak

Katarak merupakan kerusakan pada kornea mata. Katarak dapat mengakibatkan kebutaan. Kelainan ini disebabkan oleh gen dominan *K*, sedangkan alel resesif *k* menentukan sifat mata normal. Bagaimana pewarisan penyakit katarak? Perhatikan contoh berikut.

- 1) Wanita normal menikah dengan pria penderita katarak. Kemungkinan genotip dan fenotip anak-anaknya sebagai berikut.

P :	$\text{♀ kk}$	$><$	$\text{♂ KK}$
	(Normal)		(Katarak)
Gamet :	$\text{k}$		$\text{K}$
$F_1$ :		$\downarrow$	
		$\text{Kk}$ (Katarak)	

- 2) Pasangan penderita katarak heterozigot menikah. Kemungkinan genotip dan fenotip anak-anaknya sebagai berikut.

P :	$\text{♀ Kk}$	$><$	$\text{♂ Kk}$
Gamet :	K, k	↓	K, k
F <sub>1</sub> :	1 KK 2 Kk 1 kk	} menderita katarak (75%) = normal (25%)	

#### h. Botak

Ekspresi gen penyebab botak dibatasi oleh jenis kelamin. Hal ini berarti dengan genotip yang sama jika terdapat pada jenis kelamin yang berbeda akan menimbulkan ekspresi fenotip yang berbeda. Kebotakan ditentukan oleh gen B dan gen b untuk kepala berambut (normal). Perhatikan Gambar 5.14. Orang yang bergenotip BB, baik perempuan maupun laki-laki akan mengalami kebotakan. Genotip Bb pada laki-laki mengakibatkan kebotakan, tetapi tidak untuk perempuan. Hal ini menunjukkan bahwa genotip Bb tidak mengakibatkan kebotakan pada perempuan. Mengapa demikian? Keadaan ini terjadi karena perempuan menghasilkan hormon estrogen yang mampu menghalangi kebotakan. Perhatikan pewarisan gen penyebab kebotakan berikut.

- 1) Misalnya seorang wanita normal menikah dengan pria botak homozigot. Kemungkinan genotip dan fenotip anak-anaknya sebagai berikut.

P :	$\text{♀ bb}$ (Normal)	$><$	$\text{♂ BB}$ (Botak)
Gamet :	b	↓	B
F <sub>1</sub> :	Bb (Pria botak, wanita normal)		

- 2) Pasangan suami istri bergenotip heterozigot. Kemungkinan genotip dan fenotip anak-anaknya sebagai berikut.

P :	$\text{♀ Bb}$ (Normal)	$><$	$\text{♂ Bb}$ (Botak)
Gamet :	B, b	↓	B, b
F <sub>1</sub> :	1 BB = botak (pria atau wanita) 2 Bb = pria botak, wanita normal 1 bb = normal (pria atau wanita)		



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 5.14

Kebotakan ditentukan oleh gen B

## 2. Cacat dan Penyakit Menurun yang Terpaut Kromosom Seks

Gen-gen yang terangkai pada kromosom kelamin disebut juga **gen terangkai kelamin** (*sex linkage genes*). Cacat dan penyakit yang diakibatkan oleh gen terangkai kelamin oleh gen resesif, yaitu buta warna, hemofilia, anodontia, dan *hypertrichosis*. Sementara itu, cacat dan penyakit yang diakibatkan oleh gen dominan terangkai kelamin, yaitu gigi cokelat.

## a. Rangkai Kelamin oleh Gen Resesif

### 1) Buta Warna

Buta warna disebabkan oleh gen resesif c (dari kata *colour blind*) yang terpaut kromosom-X. Dengan demikian, wanita dapat normal homozigotik ( $X^cX^c$ ) atau normal heterozigotik ( $X^cX^C$ ) atau normal karier. Namun wanita buta warna ( $X^cX^c$ ) jarang dijumpai.

Perhatikan beberapa persilangan berikut.

- a) Wanita normal >< pria buta warna, semua keturunan  $F_1$  normal.

$$\begin{array}{lll} P & : & \text{♀ } X^cX^c \quad >< \quad \text{♂ } X^cY \\ \text{Gamet} & : & X^c \qquad \downarrow \qquad X^c, Y \\ F_1 & : & X^cX^c = \text{normal karier ♀} \\ & & X^cY = \text{normal ♂} \end{array}$$

- b) Wanita buta warna >< pria normal.

$$\begin{array}{lll} P & : & \text{♀ } X^cX^c \quad >< \quad \text{♂ } X^cY \\ \text{Gamet} & : & X^c \qquad \downarrow \qquad X^c, Y \\ F_1 & : & X^cX^c = \text{normal karier ♀} \\ & & X^cY = \text{buta warna ♂} \end{array}$$

Dari kedua persilangan di depan, tampak bahwa sifat ayah (normal) diwariskan kepada semua anak perempuan dan sifat ibu (buta warna) diwariskan kepada semua anak laki-lakinya. Cara pewarisan seperti ini dinamakan **pewarisan bersilang** (*criss-cross-inheritance*).

Buta warna dibedakan menjadi dua macam yaitu buta warna merah-hijau dan buta warna total. Pada buta warna total, penderita hanya mampu membedakan warna hitam dan putih. Sementara itu, buta warna merah-hijau dibagi menjadi dua yaitu **buta warna deutan**, jika yang rusak bagian mata yang peka terhadap warna hijau dan **buta warna protan** jika yang rusak adalah bagian mata yang peka terhadap warna merah.

### 2) Hemofilia

Seorang penderita hemofilia yang mengalami luka, darahnya sukar membeku. Pada orang normal, pembekuan darah memerlukan waktu  $\pm 5\text{-}7$  menit. Sementara itu, pada penderita hemofilia darah akan membeku dalam waktu 50 menit sampai 2 jam. Hal ini mengakibatkan penderita akan meninggal karena kehabisan darah.

Hemofilia disebabkan oleh gen resesif h yang terpaut pada kromosom-X. Gen H mengakibatkan sifat normal pada darah dan gen h merupakan penyebab hemofilia. Perhatikan Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Pewarisan Sifat Hemofilia

Jenis Kelamin	Normal	Hemofilia
Wanita	$X^HX^H$ , $X^HX^h$	$X^hX^h$ (letal) $X^hY$
Pria	$X^HY$	



### Tahukah Anda

#### Melakukan Tes Buta Warna

Tes buta warna (tes ishihara) dapat dilakukan di klinik atau rumah sakit yang memiliki buku untuk tes buta warna. Apabila tidak mengalami buta warna, Anda dapat melihat angka yang tersusun oleh lingkaran-lingkaran yang berwarna kontras dengan warna-warna lainnya. Selamat mencoba.

Wanita hemofilia tidak pernah dijumpai karena bersifat letal. Semua wanita normal dan beberapa di antaranya membawa sifat hemofilia.

Bagaimanakah cara pewarisan gen pembawa hemofilia? Perhatikan beberapa contoh persilangan berikut.

- a) Wanita normal homozigot dengan pria hemofilia.

$$P : \text{♀} X^H X^H \quad >< \quad \text{♂} X^h Y \\ \downarrow$$

$$F_1 : \begin{array}{l} X^H X^h = \text{normal karier (50\%)} \\ X^H Y = \text{normal (50\%)} \end{array}$$

- b) Wanita normal heterozigot dengan pria normal.

$$P : \text{♀} X^H X^h \quad >< \quad \text{♂} X^H Y \\ \downarrow$$

$$F_1 : \begin{array}{l} X^H X^H = \text{normal} \\ X^H X^h = \text{normal karier} \\ X^H Y = \text{normal} \\ X^h Y = \text{hemofilia} \end{array} \left. \right\} (75\%) \\ = (25\%)$$

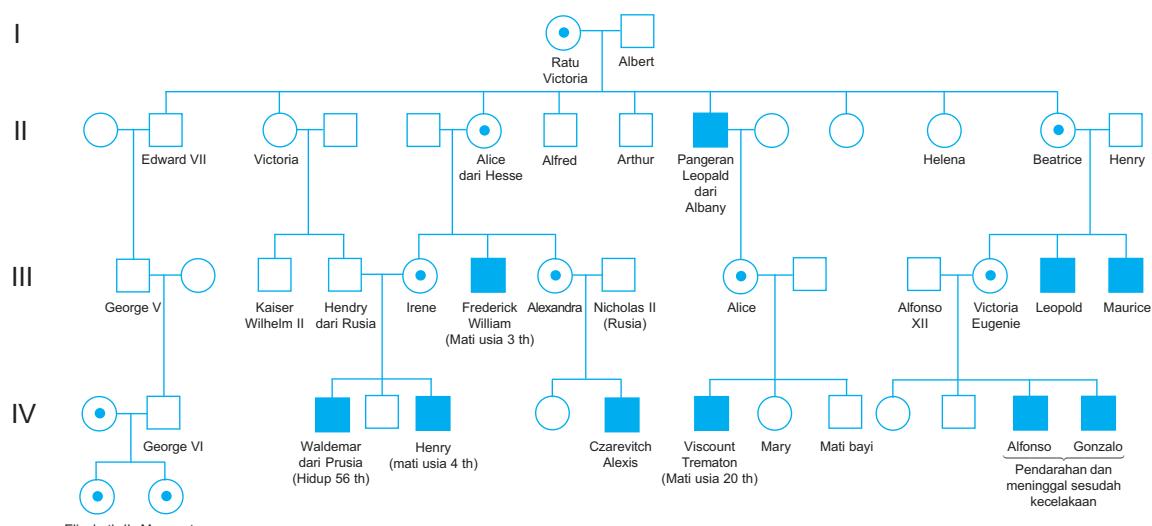
- c) Wanita normal heterozygous (karier) dengan pria hemofilia.

$$P : \text{♀} X^H X^h \quad >< \quad \text{♂} X^h Y \\ \downarrow$$

$$F_1 : \begin{array}{l} X^H X^h = \text{normal karier (25\%)} \\ X^h X^h = \text{hemofilia (letal) (25\%)} \\ X^H Y = \text{normal (25\%)} \\ X^h Y = \text{hemofilia (25\%)} \end{array}$$

Ratu Victoria (Inggris) diduga pembawa (karier) gen penyebab hemofilia pada keluarga kerajaan Inggris. Perhatikan silsilah penurunan hemofilia pada keluarga Ratu Victoria berikut.

Peta riwayat hemofilia pada keluarga Raja Eropa yang diturunkan dari Ratu Victoria



○ = Wanita

□ = Laki-Laki

● = Karier

■ = Menderita hemofilia

Lakukan Forum diskusi berikut untuk menguji kemampuan Anda dalam membaca peta riwayat hemofilia pada keluarga Raja Eropa.



### Forum Diskusi

Perhatikan sekali lagi silsilah Ratu Victoria Inggris di atas. Diskusikan dalam kelompok belajar Anda. Setelah itu, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Tuliskan genotip Ratu Victoria dan Pangeran Albert.
2. Adakah pria karier dan wanita hemofilia pada silsilah tersebut? Jelaskan alasan Anda.
3. Sebutkan wanita-wanita pembawa gen (karier) hemofilia pada silsilah tersebut.
4. Perhatikan pada generasi II yaitu perkawinan antara Putri Beatrice dengan Pangeran Henry. Tuliskan genotip putra-putrinya.
5. Perhatikan pada generasi III, Putri Alice menikah dengan pria normal. Bagaimanakah genotip putra-putrinya (generasi IV)?

### 3) *Anodontia*

Penderita anodontia tidak memiliki benih gigi dalam tulang rahangnya sehingga gigi tidak akan tumbuh. Anodontia disebabkan oleh gen resesif *a* yang terpaut pada kromosom-X, dan lebih sering dijumpai pada pria. Gen *A* menentukan pertumbuhan gigi normal dan alel resesif *a* menentukan anodontia.

### 4) *Hypertrichosis*

*Hypertrichosis* merupakan kelainan berupa tumbuhnya rambut pada bagian belakang telinga yang biasa dijumpai pada orang-orang Pakistan dan India. Kelainan ini disebabkan oleh gen resesif *h* yang terpaut pada kromosom Y sehingga faktor ini hanya diwariskan kepada anak laki-laki saja.

Apabila seorang gadis normal homozigot mendapat suami hypertrichosis, maka anak-anak yang dilahirkan akan mempunyai genotip sebagai berikut.

P :	♀ $H_1 H_1$	><	♂ $h_1 h_1$
	x x		x y
Gamet :	$H_1$		$h_1$
	x	↓	x y
$F_1$ :	$H_1 h_1$	and	$h_1 h_1$
	x x		x y
	♀ Normal		♂ Hypertrichosis

### b. Rangka Kelamin oleh Gen Dominan

Penderita gigi cokelat, mempunyai gigi berwarna cokelat dan mudah rusak karena kurang email. Penyakit ini disebabkan oleh gen dominan *B* yang terpaut kromosom-X. Alelnya yang bersifat resesif *b* menentukan gigi normal.

Seorang laki-laki bergigi cokelat menikah dengan perempuan bergigi normal akan menghasilkan keturunan bergigi cokelat pada semua anak perempuannya dan bergigi normal pada semua anak laki-lakinya. Perhatikan diagram berikut.

P :	$\text{♀ } b_1 b_1$	$><$	$\text{♂ } B_1 t$
	$x \quad x$		$x \quad y$
	Gigi normal		Gigi cokelat
Gamet :	$b \quad 1$		$B \quad 1 \quad t$
	$x$	$\downarrow$	$x \quad y$
$F_1$ :	$b \quad 1 \quad B \quad 1$	dan	$b \quad 1 \quad t$
	$x \quad x$		$x \quad y$
	♀ Gigi cokelat		♂ Gigi normal

Berdasarkan uraian di atas Anda sudah mengetahui bahwa untuk mendapatkan organisme keturunan yang baik atau unggul, Anda harus mengawinkan kedua induk yang memiliki sifat-sifat unggul pula.

Telah dijelaskan bahwa menjadikan manusia sebagai objek penelitian genetika merupakan hal tabu dan melanggar norma. Namun, kenyataannya di masyarakat terdapat individu yang mengalami kelainan genetik. Bagaimanakah cara mengatasinya? Ada dua cara mengatasi kelainan genetika pada manusia, yaitu melalui aplikasi eugenetika dan aplikasi eutenia.

1. Aplikasi eugenetika ini menyangkut perbaikan sosial melalui penggunaan hukum-hukum hereditas. Contoh beberapa saran yang diajukan oleh para ahli genetika, antara lain sebagai berikut.
  - a. Semua warga masyarakat terutama generasi muda, perlu mempelajari hukum-hukum hereditas dan memahami cara bekerjanya hukum hereditas dalam kehidupan.
  - b. Tidak kawin dengan orang yang mempunyai sakit jiwa, lemah ingatan seperti idiot, imbisil, atau penjahat berbakat.
  - c. Dianjurkan tetap memelihara kesehatan badan dan mental melalui latihan badan dan pendidikan.
  - d. Melakukan pemeriksaan terhadap kesehatan dan asal usul calon sebelum melakukan pernikahan.
2. Aplikasi Eutenia, menyangkut perbaikan sosial melalui pengubahan lingkungan yang lebih positif.

Contoh: perbaikan mutu pendidikan; perbaikan tempat tinggal; perbaikan menu makanan, misalnya harus memenuhi kriteria 4 sehat 5 sempurna; dan perbaikan lingkungan.



### Tahukah Anda

#### Perbandingan Hasil Persilangan Alami dan Buatan

Siapkanlah tumbuhan sejenis yang memiliki warna bunga beranekaragam. Biarkanlah sebagian tumbuhan bunga itu melakukan perkawinan secara alami, dan kawinkanlah sebagian yang lain. Pilihlah bunga-bunga yang Anda anggap memiliki keunggulan. Biarkan bunga-bunga berbiji dan tumbuhkanlah hingga tanaman hasil perkawinan tersebut berbunga. Bagaimanakah hasilnya?

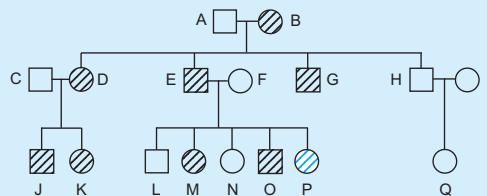


## Uji Kompetensi B

Jawablah soal-soal berikut.

- Seorang anak bergolongan darah A dan ibunya O. Bagaimanakah kemungkinan golongan darah ayahnya?
- 50% dari jumlah anak-anak suatu keluarga mempunyai golongan darah A, 25% bergolongan darah B, dan 25% bergolongan darah AB. Bagaimanakah kemungkinan fenotip dan genotip kedua orang tuanya?
- Mengapa perkawinan antarkeluarga dekat berakibat kurang baik?
- Dentinogenesis imperfecta* menyebabkan gigi berwarna cokelat. Kelainan ini ditentukan oleh

gen dominan D dan alelnya yang resesif menentukan gigi normal. Jika kotak-kotak yang diarsir pada diagram silsilah ini merupakan individu yang menderita kelainan tersebut, tentukan genotip dari tiap-tiap individu yang ada dalam diagram silsilah berikut.



- Apa yang dimaksud dengan *criss-cross inheritance*?



## Tugas Proyek

### Fenotip yang Ditentukan oleh Gen Terangkai Kromosom-X

Warna mata pada *Drosophila* ditentukan oleh gen terangkai kromosom-X. W adalah gen dominan untuk mata merah (normal), sedangkan w merupakan alelnya yang bersifat resesif dan menentukan warna putih.

#### A. Tujuan

Mengamati fenotip warna mata *Drosophila* yang terangkai kromosom-X.

#### B. Alat dan Bahan

- kertas
- botol
- lalat buah (*Drosophila*)
- pisang
- tapai

#### C. Cara Kerja

- Tangkaplah beberapa *Drosophila* dan bedakan jenis kelaminnya. *Drosophila* jantan berukuran lebih kecil dan abdomennya lima segmen. Sementara itu, abdomen *Drosophila* betina tujuh segmen. Ujung abdomen lalat jantan lebih membulat daripada ujung abdomen lalat betina yang tampak memanjang.
- Buatlah medium makanan untuk lalat buah *Drosophila* dengan menghaluskan pisang kemudian campur dengan tapai ketela.

Usahakan mediumnya agak padat sehingga larva tidak tenggelam dan mati.

- Masukkan medium ke dalam botol yang sudah disterilisasi. Masukkan kertas di tengah medium sebagai sarang *Drosophila* tersebut.
- Silangkan lalat jantan tipe liar (mata merah) dengan lalat betina bermata putih (mutan). Harap diingat bahwa gen untuk sifat ini terangkai kromosom-X, sehingga keturunannya harus dibedakan jenis kelaminnya. Biasanya *Drosophila* betina yang digunakan masih perawan, yaitu lalat betina berumur kira-kira 12 jam. Umur lalat jantan tidak menjadi soal. Pada setiap satu botol dimasukkan sepasang lalat yang organ seksnya berbeda.
- Selesai mengawinkan, tempelkan etiket pada botol dan bubuhkan tanggal, nama Anda, dan fenotip lalat yang dikawinkan itu. Amati lalat dalam botol percobaan Anda pada hari ketiga setelah mengawinkan lalat-lalat tersebut. Jika Anda berhasil mengawinkan lalat-lalat tersebut, maka dalam botol tersebut akan kelihatan adanya larva-larva. Jika larva belum tampak, berarti percobaan Anda gagal dan harus segera mengulangi dan mengadakan perkawinan lalat lagi.

6. Kira-kira dua minggu setelah mengawinkan lalat, akan diperoleh keturunan  $F_1$ . Perhatikanlah fenotipnya, pisahkan lalat tersebut berdasarkan organ seksnya, dan hitunglah. Tetapkan fenotip dan genotip dari lalat-lalat itu dan buatlah daftar sebagai berikut.

**Tabel 1.1 Hasil perkawinan lalat *Drosophila* dengan gen terangkai kromosom-X**  
Perkawinan parental (P)

Seks	Jumlah	Fenotip	Genotip
Jantan	...	...	...
Betina	...	...	...
Keturunan $F_1$			
Jantan	...	...	...
Betina	...	...	...

Pada lalat-lalat  $F_1$  biasanya tampak adanya pewarisan bersilang ("Criss cross inheritance") artinya sifat dari induk jantan diwariskan kepada anak-anak betina, sedangkan sifat dari betina diwariskan kepada anak-anak jantan.

7. Sesudah selesai membuat data itu, buatlah perkawinan antara lalat-lalat  $F_1$  dengan maksud untuk memperoleh keturunan  $F_2$ . Oleh karenanya, dipakailah 6 lalat jantan dan 6 lalat betina. Jangan lupa menempelkan etiket pada botol Anda dengan membubuhkan keterangan seperti sebelumnya. Letakkan botol itu dalam temperatur yang sesuai.

8. Setelah kira-kira 10 hari akan diperoleh lalat  $F_2$ . Sebaiknya usahakan sampai mendapatkan paling sedikit 100 lalat keturunan  $F_2$ .

9. Buatlah laporan dalam bentuk tabel sebagai berikut.

**Tabel 1.2 Perkawinan lalat-lalat dengan gen terangkai kromosom-X**

#### Perkawinan $F_1$

♀ Genotip : ...	X ♂ Genotip : ...
Fenotip : ...	Fenotip : ...

#### Keturunan $F_2$

Seks	Jumlah	Fenotip	Genotip
Jantan	...	...	...
	...	...	...
	...	...	...
	...	...	...
Betina	...	...	...
	...	...	...
	...	...	...
	...	...	...

10. Buatlah kesimpulan dari hasil percobaan perkawinan ini.

#### D. Pelaporan

Buatlah laporan tertulis sesuai struktur penulisan ilmiah dari proyek ini. Kumpulkan laporan kepada bapak atau ibu guru Anda.



### Rangkuman

- Gregor Johann Mendel merupakan orang yang pertama kali melakukan penelitian mengenai penurunan sifat. Oleh karena itu, ia dinobatkan sebagai bapak genetika.
- Persilangan dua individu yang mempunyai sifat beda disebut hibrid. Terdapat beberapa macam hibrid di antaranya:
  - Monohibrid  
Suatu hibrid dengan satu sifat beda.
  - Dihibrid  
Suatu hibrid dengan dua sifat beda.
  - Trihibrid  
Suatu hibrid dengan tiga sifat beda.
- Individu dengan pasangan gen sama disebut homozigot.
- Individu dengan pasangan gen berbeda disebut heterozigot.
- Hukum I Mendel dikenal dengan Pemisahan Gen yang Sealel.
- Sifat dominan yang tidak muncul secara penuh disebut sifat intermediat.
- Hukum II Mendel dikenal dengan hukum Pengelompokan Gen secara Bebas.
- Perkawinan resiprokal merupakan perkawinan kebalikan dari yang semula dilakukan dan

- menghasilkan keturunan dengan perbandingan genotip yang sama.
9. Perkawinan balik (*back cross*) adalah perkawinan antara individu  $F_1$  dengan salah satu induknya.
  10. Uji silang (*test cross*) adalah perkawinan antara individu  $F_1$  (hibrid) dengan individu yang homozigot resesif.
  11. Alel adalah gen-gen yang terletak pada lokus yang sama dalam kromosom homolog.
  12. Penyimpangan semu hukum Mendel yaitu penyimpangan pola dasar yang dikemukakan dalam hukum Mendel, tetapi sebenarnya merupakan modifikasi hukum Mendel.
    - a. Epistasis dan hipostasis merupakan salah satu bentuk interaksi gen, dalam hal ini gen dominan mengalahkan gen dominan lainnya yang bukan sealel.
    - b. Kriptomeri adalah peristiwa gen dominan seolah-olah tersembunyi bila berada
  13. bersama dengan gen dominan lainnya, dan akan terlihat bila berdiri sendiri.
  - c. Atavisme merupakan peristiwa munculnya sifat baru pada  $F_1$  dan  $F_2$ .
  - d. Polimeri adalah pembastaran homozigot dengan banyak sifat beda yang berdiri sendiri-sendiri tetapi mempengaruhi bagian yang sama pada suatu organisme.
  - e. Gen komplementer adalah gen-gen yang berinteraksi dan saling melengkapi.
  14. Pautan gen merupakan peristiwa dua gen atau lebih yang terletak pada satu kromosom dan tidak dapat dipisahkan diri.
  15. Pindah silang merupakan peristiwa yang terjadi apabila ada pertukaran sebagian gen-gen suatu kromatid dengan gen-gen dari kromatid pasangan homolognya.



## Evaluasi

A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.

1. Gen yang terdapat pada lalat buah dan tidak dapat dipisahkan misalnya panjang sayap dan gen lebar abdomen akan mengalami peristiwa . . .
  - a. pautan gen
  - b. pindah silang
  - c. pautan seks
  - d. gen letal
  - e. determinasi seks
2. Gen yang mungkin terjadi pada lalat buah betina yang mengalami pindah silang yaitu . . .
  - a.  $PpVv$
  - b.  $Ppvv$
  - c.  $ppVv$
  - d.  $ppvv$
  - e. betul semua

3. Sifat keturunan pada manusia yang ditentukan oleh gen-gen yang tidak terpaut kromosom yaitu . . .
  - a. buta warna
  - b. warna mata
  - c. hemofilia
  - d. anodontia
  - e. hidrosefali
4. Peta silsilah golongan darah. Individu X memiliki golongan darah . . .
 

$A \text{---} B$ $AB$ $\text{---}$ $A \text{---} X$ $\text{---}$ $A \text{---} B \text{---} AB$
--

  - a. O
  - b. AB
  - c. B homozigot
  - d. A homozigot
  - e. A atau B homozigot

5. Selain melalui pedigree, ada cara lain untuk mempelajari penurunan sifat pada manusia, yaitu . . .
- menggali fosil nenek moyang manusia
  - membandingkan embrio manusia dengan hewan
  - meneliti genetika hewan yang karakternya mirip manusia
  - mempelajari sifat pada anaknya yang lahir pertama kali
  - mempelajari penurunan sifat pada anak kembar
6. Polidaktili yaitu . . .
- kelainan genetika ditandai dengan kulit tubuh tidak mampu membentuk pigmen melanin
  - kelainan genetika karena rendahnya pembentukan hemoglobin
  - kelainan genetika ditandai banyaknya jari tangan atau kaki melebihi normal
  - kelainan pada gigi yang ditandai tulang gigi berwarna putih
  - kelainan genetika karena tubuh tak mampu melakukan metabolisme fenilalanin
7. Pada peristiwa interaksi beberapa pasangan alel (atavisme) menghasilkan rasio fenotip  $F_2$  sama seperti dihibrid biasa. Namun, digolongkan sebagai penyimpangan terhadap hukum Mendel karena . . .
- terdapat gen dominan yang saling menutupi
  - muncul sifat baru yang sebelumnya tidak dikenal
  - kedua induk merupakan galur murni
  - terjadi *inhibiting* gen
  - munculnya jenis pial yang bersifat intermediat
8. Jika diketahui terdapat gen  $\frac{ABCD}{abcd}$  maka peristiwa pindah silang dapat terjadi antara . . .
- gen A dengan gen B
  - gen b dengan gen c
  - gen B dengan gen C
  - gen B dengan gen c
  - gen c dengan gen d
9. Pernyataan berikut ini yang sesuai dengan metode determinasi seks lebah madu yaitu . . .
- Lebah betina (pekerja) mempunyai kromosom haploid.
  - Sel sperma mengandung kromosom haploid.
  - Lebah jantan mempunyai kromosom diploid.
  - Sel telur yang dibuahi akan menjadi lebah jantan.
  - Sel telur yang mengalami partenogenesis akan menjadi lebah pekerja.
10. Penyimpangan hukum Mendel yang memunculkan sifat baru pada  $F_1$  dan  $F_2$ , tetapi perbandingan fenotipnya tetap disebut . . .
- epistasis
  - polimeri
  - criptomeri
  - interaksi
  - komplementer
11. Jumlah kromosom tubuh pada belalang jantan yaitu . . .
- $22 + XX$
  - $22 + XY$
  - $22 + X$
  - $11 + X$
  - $11 + XY$
12. Suatu persilangan dihibrida menghasilkan  $F_2$  dengan rasio fenotip 12 : 3 : 1. Hal ini menunjukkan adanya penyimpangan hukum Mendel yaitu . . .
- criptomeri
  - interaksi
  - epistasi
  - dominasi
  - polimeri
13. Tanaman sejenis gandum berkulit hitam ( $HhKk$ ) disilangkan dengan yang berkulit kuning ( $hhKk$ ). Jika gen H = hitam epistasis terhadap gen k = kuning, perbandingan fenotip hitam : kuning : putih yang muncul pada keturunannya yaitu . . .
- 2 : 1 : 1
  - 2 : 2 : 1
  - 4 : 2 : 2
  - 4 : 3 : 1
  - 6 : 2 : 2

14. Perhatikan bagan persilangan peristiwa penyimpangan hukum Mendel berikut ini.

P: Hitam >< Hitam  
RrCc RrCc

$F_2$	$\sigma$	RC	Rc	rC	rc			
$\varphi$								
RC	RRCC	1	RRCc	2	RrCC	3	RrCc	4
Rc	RRCc	5	RRcc	6	RrCc	7	Rrcc	8
rC	RrCC	9	RrCc	10	rrCC	11	rrCc	12
rc	RrCc	13	Rrcc	14	rrCc	15	rrcc	16

Berdasarkan bagan di atas, fenotip yang berwarna hitam terdapat pada nomor . . . .

- a. 1, 2, 3, 4, 6, dan 8
  - b. 1, 2, 3, 5, 7, dan 9
  - c. 2, 3, 4, 6, 8, dan 10
  - d. 3, 5, 6, 8, 10, dan 12
  - e. 4, 6, 8, 12, 14, dan 16

15. *Drosophila* warna tubuh kelabu dan bentuk sayap merupakan pautan. Gamet yang dibentuk oleh *Drosophila* bergenotip BbVv yaitu . . . .

- a. BV dan Bv
  - b. BV dan bv
  - c. BV, bV, dan bv
  - d. Bv dan bv
  - e. By dan bV

16. Persilangan antara lalat buah mata merah sayap normal dengan mata ungu sayap keriput dihasilkan  $F_1$  yang bermata merah sayap normal. Kemudian diadakan uji silang antara  $F_1$  mata merah sayap normal heterozigotik dengan induk jantan resesif, diperoleh hasil sebagai berikut.

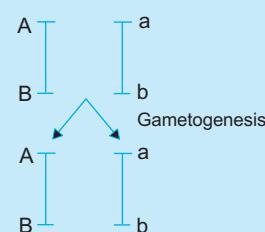
- 1) 864 mata merah sayap normal
  - 2) 876 mata ungu sayap keriput
  - 3) 36 mata merah sayap keriput
  - 4) 24 mata ungu sayap normal

Kedua gen tersebut terletak pada kromosom yang sama. Nilai pindah silangnya sebesar . . . .

- a. 0,3 %
  - b. 3,3 %
  - c. 6,7 %
  - d. 33,3 %
  - e. 66,7 %

17. Diagram di samping menunjukkan terjadinya peristiwa

- a. gagal berpisah
  - b. pindah silang
  - c. terpaut seks
  - d. ploidi
  - e. pautan



18. Hasil uji silang (*test cross*) *Drosophila melanogaster* tubuh abu-abu sayap panjang diperoleh hasil:

- 1) tubuh abu-abu sayap panjang 965 ekor,
  - 2) tubuh hitam sayap pendek 959 ekor,
  - 3) tubuh abu-abu sayap pendek 962 ekor, dan
  - 4) tubuh hitam sayap panjang 964 ekor.

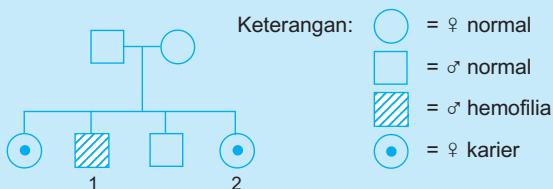
Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa proses yang terjadi yaitu . . .

- a. tidak ada pautan antara tubuh abu-abu dengan sayap panjang
  - b. terjadi pindah silang antara tubuh abu-abu dengan sayap panjang
  - c. terjadi gagal berpisah antara tubuh abu-abu dengan sayap panjang
  - d. tidak ada gen yang terpaut pada kromosom seks
  - e. tidak terjadi rekombinasi antara tubuh abu-abu dengan sayap panjang

19. Seorang wanita normal menikah dengan laki-laki penderita buta warna, anak wanitanya normal menikah dengan laki-laki normal. Cucu laki-laki yang mengalami buta warna sebanyak



20. Perhatikan diagram peta silsilah dari keluarga hemofilia.



Berdasarkan data di atas untuk nomor 1 dan nomor 2 berfenotip . . . .

- a. normal dan hemofilia
  - b. karier dan karier
  - c. hemofilia dan hemofilia
  - d. normal dan karier
  - e. hemofilia dan karier

B. Jawablah soal-soal berikut.

1. Bagaimana terjadinya *crossing over* (pindah silang)?
2. Genetika manusia sangat penting manfaatnya bagi manusia, tetapi mengapa dalam penelitiannya tidak pernah menggunakan manusia sebagai objek kajian?
3. Upaya apakah yang paling bijaksana untuk memperbaiki mutu generatif pada manusia?
4. Bagaimana cara mendapatkan bibit unggul pada hewan dan tumbuhan?
5. Cara-cara apakah yang paling bijaksana untuk ditempuh agar dapat menghindari penyakit yang bersifat menurun pada manusia?
6. Mengapa penyakit yang bersifat menurun sukar atau tidak bisa disembuhkan?
7. Bagaimanakah cara kita dapat mengetahui suatu sifat itu dominan atau resesif?
8. Mengapa terjadi peristiwa gagal berpisah?
9. Mengapa pada individu yang memiliki gen letal keturunannya menyimpang dari hukum Mendel?

10. Seorang anak terlahir dengan golongan darah O. Bagaimanakah kemungkinan terbesar golongan darah yang dippunyai kedua orang tuanya?

C. Berpikir kritis.

Di halaman Kampus Universitas Sebelas Maret Surakarta terdapat sebuah pohon yang cukup mengherankan dan menarik perhatian. Biji-bijinya yang jatuh dari pohon itu tumbuh di tanah, tetapi di antara tumbuhan baru ini selalu terdapat sejumlah tanaman yang daunnya putih (tidak berklorofil), sehingga tidak lama kemudian mati.

- a. Dapatkah Anda menerangkan keajaiban tersebut?
- b. Apakah ada kemungkinan melalui suatu percobaan untuk mendapatkan biji-biji dari pohon itu yang tidak akan menghasilkan tanaman berdaun putih? Andaikan jawaban Anda "dapat", bagaimanakah caranya?



## Refleksi

### Hukum Hereditas

Pelajari kembali

Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

1. Apakah hereditas itu?
2. Sebutkan hukum Mendel I dan II.
3. Sebutkan penyimpangan hukum Mendel.
4. Apa manfaat mempelajari hereditas pada manusia?

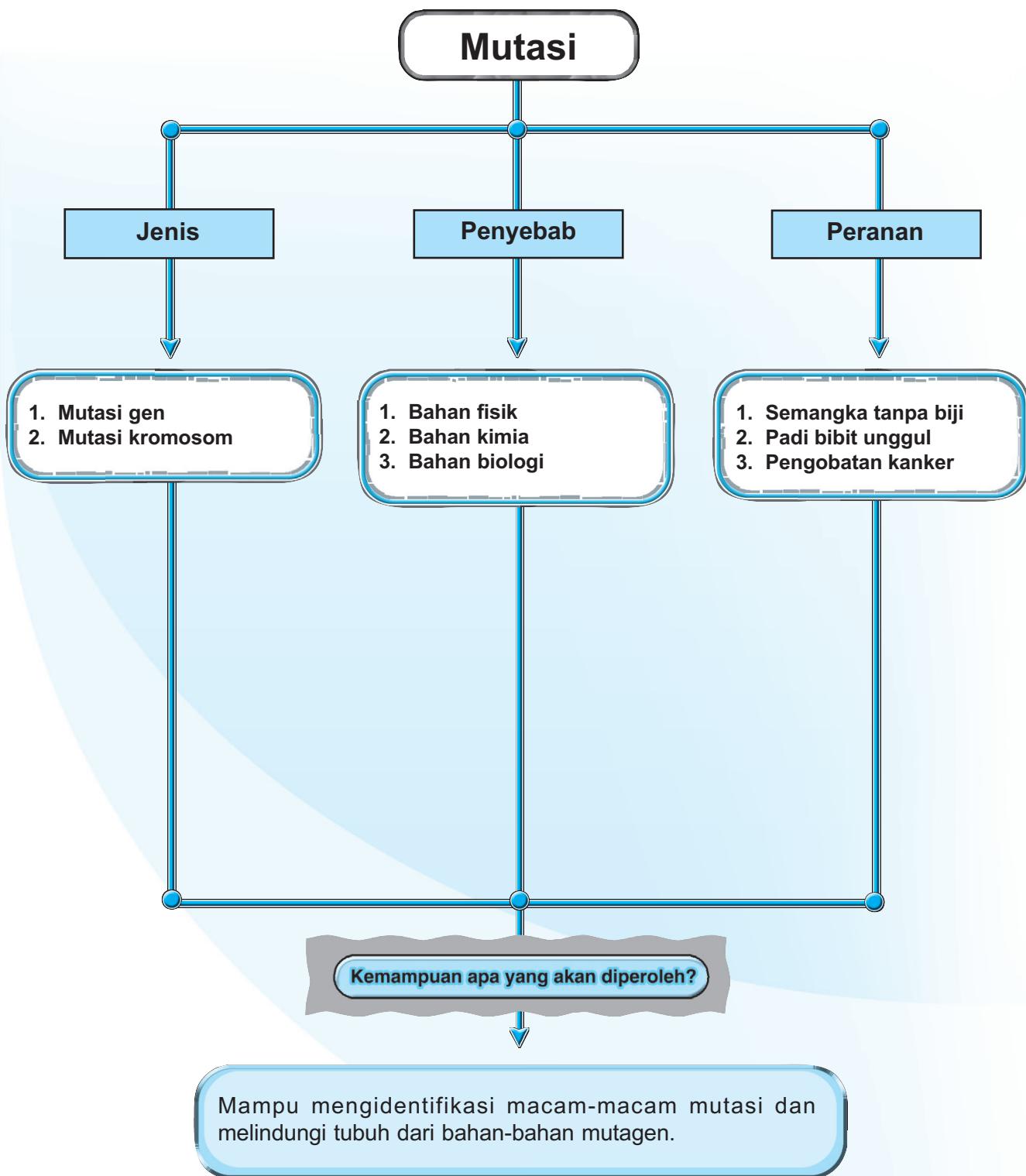
Jawaban betul < 60%

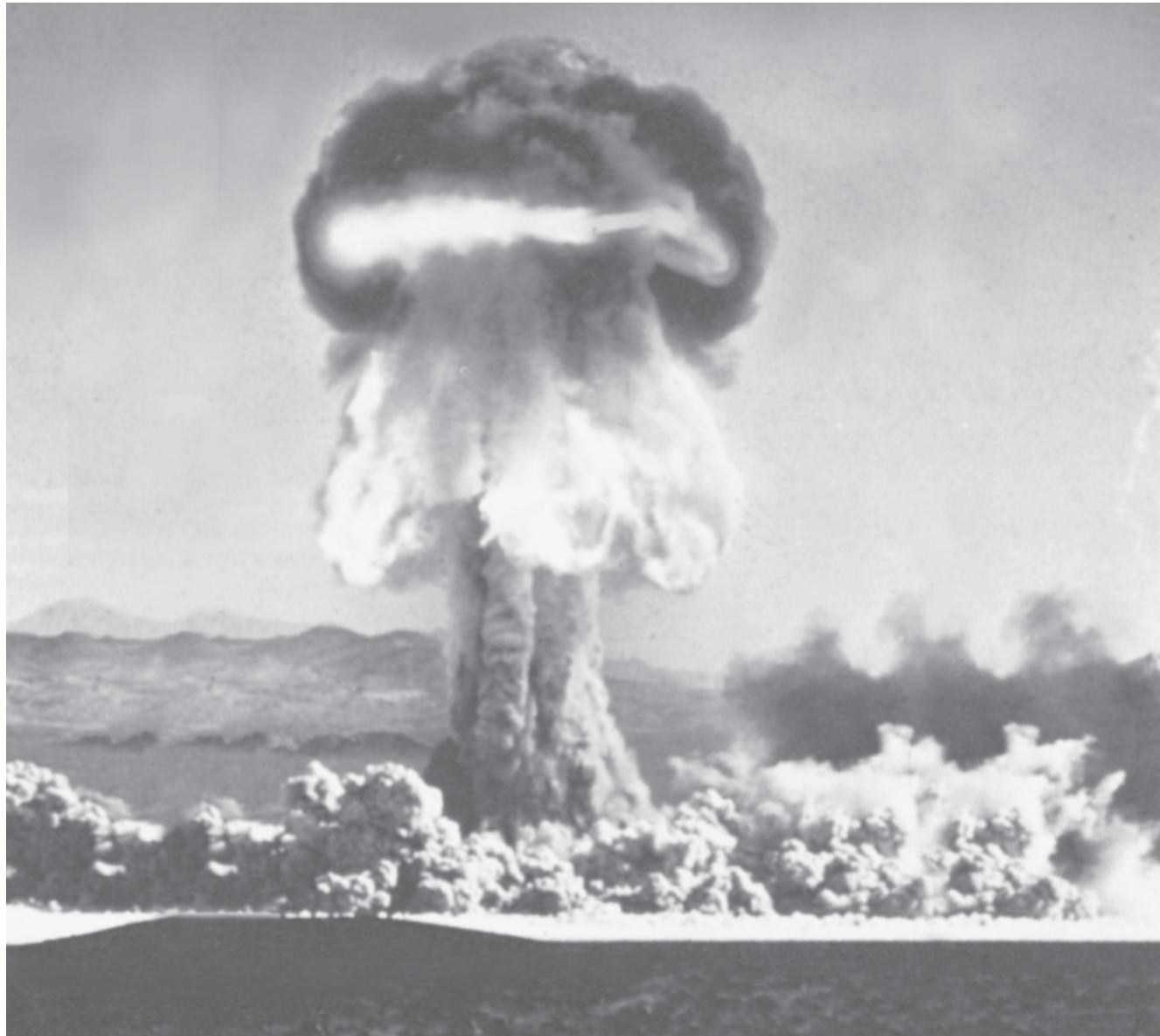
Jawaban betul  $\geq 60\%$



# Bab VI

## Mutasi





Sumber: New Lower Secondary: Science 1, Tho Lai Hoong & Ho Peck Leng

Dampak peristiwa pengeboman Hiroshima dan Nagasaki pada Perang Dunia kedua sangat mengerikan. Peristiwa tersebut dikecam oleh penduduk dunia. Korban yang meninggal begitu banyak dan penduduk yang masih hidup, seringkali mempunyai keturunan yang cacat akibat mutasi. Bom tersebut ternyata mengeluarkan bahan radioaktif yang membahayakan makhluk hidup.

Pada bab ini Anda akan mempelajari pengertian dan macam-macam mutasi serta penyebab dan dampaknya bagi kehidupan. Setelah mempelajari bab ini Anda akan mengenal macam-macam mutasi dan mampu melindungi tubuh dari bahan-bahan mutagen.



### Kata Kunci

mutasi  
mutagen  
mutan  
duplicasi  
adisi  
translokasi  
delesi  
inversi  
substitusi  
*nondisjunction*  
euploid  
aneuploid

Bom yang dijatuhkan di Hiroshima dan Nagasaki sebenarnya bom nuklir yang tersusun atas bahan-bahan radioaktif. Bahan-bahan tersebut juga dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga nuklir. Mungkin Anda pernah membaca di media massa tentang peristiwa meledaknya pembangkit listrik tenaga nuklir di Chernobyl, Uni Soviet. Pembangkit listriknya hancur, penduduk sekitarnya banyak yang meninggal, dan yang hidup menderita cacat tubuh karena sel-sel tubuhnya mengalami mutasi. Oleh karena dampak penggunaan nuklir sangat berbahaya bagi manusia, mayoritas penduduk dunia menentang pemanfaatan nuklir.

Tenaga nuklir pada saat ini masih digunakan dalam penelitian-penelitian oleh badan-badan khusus dan hasilnya terus dipantau. Berikut ini akan diuraikan mengenai macam-macam mutasi. Namun, sebelumnya Anda sebaiknya mempelajari kembali materi-materi pada bab III (Substansi Genetik), bab IV (Pembelahan sel), dan bab V (Hereditas) karena materi bab-bab tersebut sangat berhubungan dengan materi berikut.

## A. Pengertian dan Macam-Macam Mutasi

Istilah mutasi pertama kali dikemukakan oleh **Hugo de Vries** (Belanda) dalam bukunya yang berjudul *The Mutation Theory* pada tahun 1901. Istilah mutasi digunakan untuk mengemukakan adanya perubahan fenotip pada bunga *Oenothera lamarckiana*. Perubahan fenotip tersebut disebabkan oleh perubahan gen. Jadi, mutasi merupakan perubahan informasi genetik yang terjadi dalam organisme. Berikut ini diuraikan mengenai jenis-jenis mutasi.

### 1. Mutasi Gen (*Point Mutation*)

Perubahan struktur DNA (gen) yang terjadi pada lokus tunggal kromosom dinamakan mutasi gen atau *point mutation*. Telah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya bahwa fenotip pada suatu organisme ditentukan oleh susunan nukleotida dalam molekul DNA. Perubahan pada satu atau lebih nukleotida dapat menyebabkan kesalahan pembentukan asam amino yang akan membentuk protein (enzim).

Mutasi tidak selalu diwariskan kepada keturunan. Bila mutasi gen terjadi pada sel-sel somatis (sel tubuh) maka perubahan fenotip yang terjadi tidak diturunkan pada generasi berikutnya. Hanya mutasi gen pada sel-sel kelamin (gamet) saja yang perubahan fenotipnya diwariskan kepada keturunan.

Kita dapat membuat perumpamaan untuk dapat memahami adanya mutasi gen. Anggaplah tiap-tiap nukleotida itu sebagai huruf-huruf dalam alfabet. Huruf-huruf tersebut akan menjadi satu kelompok sebagai mesin kimia sel yang berfungsi menginstruksikan untuk membuat protein khusus. Satu per satu huruf akan tersusun dan membuat suatu kata yang mempunyai arti khusus. Jika terjadi kesalahan penyusunan huruf-huruf, misalnya terbalik susunannya atau hilang salah satu hurufnya maka kata tersebut tidak dapat diartikan lagi atau memiliki arti lain (tak sesuai dengan yang diharapkan). Dalam keadaan tersebut, sel tidak dapat membentuk protein karena informasi tidak jelas atau membentuk protein lain. Dalam kasus yang lain, perubahan gen menimbulkan informasi khusus yang baru. Selanjutnya, akan dibentuk protein

Baca kembali tabel kode genetik mRNA di bab III.



sesuai dengan instruksi yang baru tersebut. Protein yang terbentuk setelah sel mengalami mutasi gen berbeda dengan protein pada sel normal.

Mutasi gen dapat terjadi karena hal-hal berikut.

- Duplikasi**, yaitu terjadi pengulangan sebagian rantai nukleotida.

Contoh:

Gen normal

Kode DNA	CGG	GCG	ACA	GTG	TTC	CAA	CGA
Kode mRNA	GCC	CGC	UGU	CAC	AAG	GUU	GCU
Asam amino	alanin	arginin	sistein	histidin	lisin	valin	alanin

Setelah gen normal mengalami pengulangan nukleotida A pada kodon ke-3, maka nukleotida di belakangnya akan bergeser sehingga terbentuk susunan rantai nukleotida berikut.

Kode DNA	CGG	GCG	<b>AAC</b>	AGT	GTT	CCA	ACG	A
Kode mRNA	GCC	CGC	UUG	UCA	CAA	GGU	UGC	U
Asam amino	alanin	arginin	leusin	serin	glutamin	glisin	sistein	

- Adisi (insersi)**, yaitu terjadi penambahan atau penyisipan nukleotida dalam rantai.

Contoh:

Gen normal

Kode DNA	CGG	GCG	ACA	GTG	TTC	CAA	CGA
Kode mRNA	GCC	CGC	UGU	CAC	AAG	GUU	GCU
Asam amino	alanin	arginin	sistein	histidin	lisin	valin	alanin

Setelah gen normal mengalami penambahan satu nukleotida T pada kodon ke-2 maka nukleotida di belakangnya akan bergeser sehingga membentuk susunan rantai nukleotida berikut.

Kode DNA	CGG	<b>GCT</b>	GAC	AGT	GTT	CCA	ACG	A
Kode mRNA	GCC	CGA	CUG	UCA	CAA	GGU	UGC	U
Asam amino	alanin	arginin	leusin	serin	glutamin	glisin	serin	

- Delesi**, yaitu hilangnya sebagian nukleotida dalam rantai.

Contoh

Gen normal

Kode DNA	CGG	<b>GCG</b>	ACA	GTG	TTC	CAA	CGA
Kode mRNA	GCC	CGC	UGU	CAC	AAG	GUU	GCU
Asam amino	alanin	arginin	sistein	histidin	lisin	valin	alanin

Setelah gen normal mengalami kehilangan nukleotida G pada kodon ke-2 maka nukleotida di belakang bergeser maju sehingga terbentuk susunan rantai nukleotida berikut.

Kode DNA	CGG	GCA	CAG	TGT	TCC	AAC	GA
Kode mRNA	GCC	CGU	GUC	ACA	AGG	UUG	CU
Asam amino	alanin	<i>arginin</i>	valin	treonin	<i>arginin</i>	leusin	

- d. **Inversi**, yaitu sebagian nukleotida terpisah dan bergabung lagi dengan posisi terbalik.

Contoh:

Gen normal

Kode DNA	CGG	GCG	ACA	GTG	TTC	CAA	CGA
Kode mRNA	GCC	CGC	UGU	CAC	AAG	GUU	GCU
Asam amino	alanin	<i>arginin</i>	sistein	histidin	lisin	valin	alanin

Setelah nukleotida-nukleotida pada kodon ke-5 terputus kemudian bergabung lagi dengan posisi terbalik maka terbentuk susunan rantai nukleotida berikut.

Kode DNA	CGG	GCG	ACA	GTG	<b>GAA</b>	CAA	CGA
Kode mRNA	GCC	CGC	UGU	CAC	CUU	GUU	GCU
Asam amino	alanin	<i>arginin</i>	sistein	histidin	lisin	valin	alanin

- e. **Substitusi**, yaitu salah satu dari nukleotida diganti dengan nukleotida lain yang mempunyai basa nitrogen yang berbeda.

Contoh

Gen normal

Kode DNA	CGG	GCG	ACA	GTG	TTC	CAA	CGA
Kode mRNA	GCC	CGC	UGU	CAC	AAG	GUU	GCU
Asam amino	alanin	<i>arginin</i>	sistein	histidin	lisin	valin	alanin

Setelah nukleotida C pada kodon ke-2 diganti dengan nukleotida T maka terbentuk susunan rantai nukleotida berikut.

Kode DNA	CGG	<b>G</b> TG	ACA	GTG	CTT	CAA	CGA
Kode mRNA	GCC	CAC	UGU	CAC	GAA	GUU	GCU
Asam amino	alanin	histidin	sistein	histidin	glutamin	valin	alanin

Anda akan lebih memahami adanya duplikasi, adisi, delesi, dan inversi melalui kegiatan berikut.



## Forum Diskusi

Misalnya terdapat rantai mRNA (kodon) dengan susunan:

AUC CUC AGG GAG UUA CGC ACC

Setelah mengalami mutasi dihasilkan rantai mRNA dengan susunan sebagai berikut.

- AUC CUC AGG UGA GUU ACG CAC C
- AUC CUC AGG AGU UAC GCA CC
- AUC CUC AGG UAG UUA CGC ACC
- AUC CUC AGG GGA GUU ACG CAC C
- AUC CUC AGG GAG AUU CGC ACC

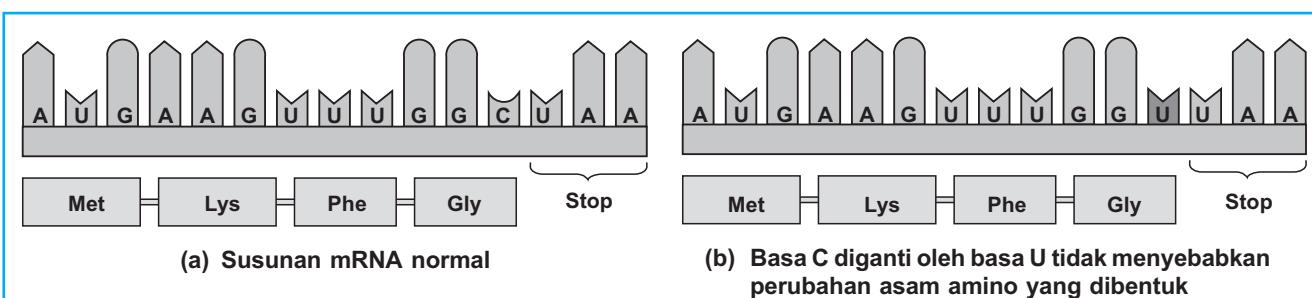
Berdasarkan data di depan, diskusikan bersama teman sekelompok Anda mengenai hal berikut.

- Jelaskan perubahan gen yang terjadi pada a, b, c, d, dan e.
- Sebutkan tipe mutasi gen pada a, b, c, d, dan e.

Presentasikan hasil diskusi kelompok Anda di depan kelas.

Terjadinya mutasi gen dapat mempengaruhi penerjemahan kode-kode basa mRNA dalam sintesis protein. Jika mutasi gen tidak mempengaruhi jenis protein yang dihasilkan dinamakan *silent mutation*, tetapi jika mutasi gen menyebabkan perubahan hasil protein yang dibentuk disebut *missense mutation*. Sementara itu, ada mutasi gen yang menyebabkan pembentukan kodon *stop*, akibatnya akan terbentuk protein baru atau tidak sama sekali. Peristiwa ini disebut *nonsense mutation*. Bagaimana terjadinya ketiga jenis mutasi tersebut? Marilah kita pelajari dalam uraian berikut.

Misalnya suatu mRNA normal mempunyai susunan seperti Gambar 6.1 (a) dan mengalami mutasi seperti Gambar 6.1 (b).



Sumber: Dokumentasi Penerbit

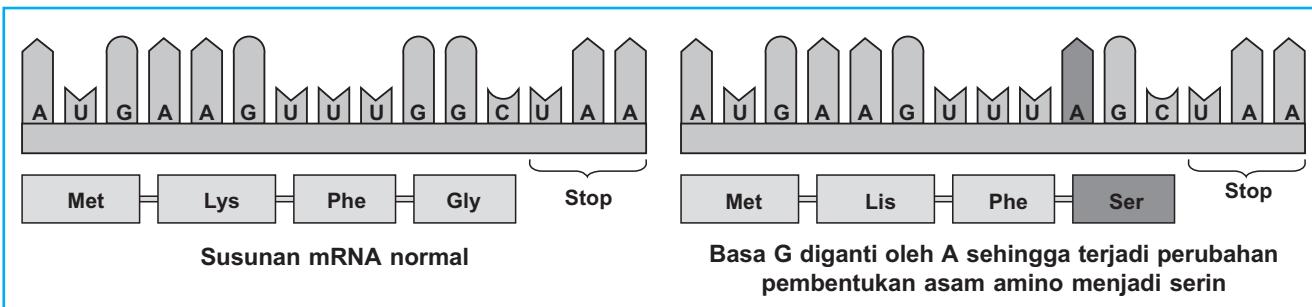
**Gambar 6.1**

Perbedaan susunan mRNA normal dan mRNA yang mengalami *silent mutation*

Coba perhatikan gambar di atas. Pada peristiwa tersebut terlihat kodon GGC digantikan oleh GGU. Penggantian kodon ini tidak mempengaruhi pembentukan asam amino. Mengapa? Beberapa kodon, seperti GGU, GGA, GGC, dan GGG mengkode satu jenis asam amino, yaitu glisin. Peristiwa mutasi yang tidak menyebabkan terjadinya perubahan pembentukan asam amino seperti di atas disebut *silent mutation*.

Akibat mutasi gen yang lain, yaitu perubahan pada satu nukleotida atau lebih yang mengakibatkan berubahnya asam amino yang dibentuk oleh mRNA. Misalnya jika kodon GGC yang mengkode

glisin digantikan oleh AGC yang mengkode serin. Oleh karena susunan asam amino berubah maka protein yang dibentuk pun juga berubah. Oleh karena susunan asam amino pembentuk protein berubah maka ada kemungkinan fungsi protein juga berubah. Peristiwa ini dinamakan *missense mutation*. Perhatikan Gambar 6.2 berikut.

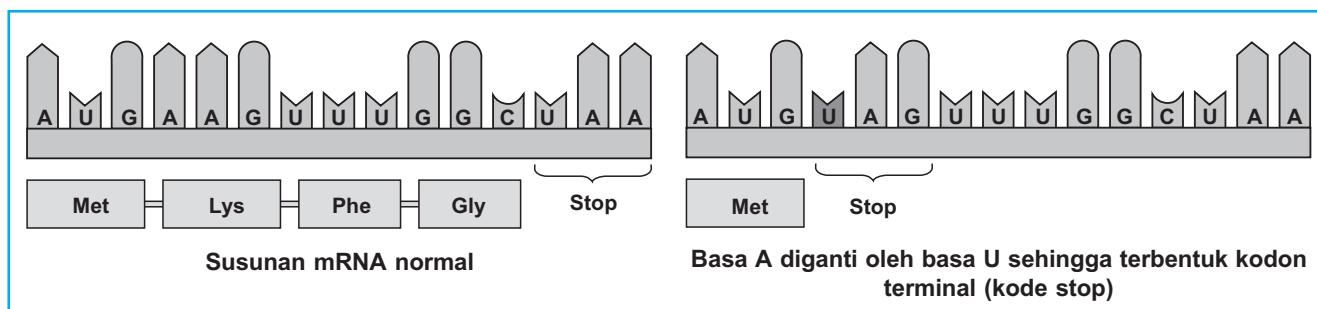


Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 6.2**

Perbedaan susunan mRNA normal dan mRNA yang mengalami *missense mutation*

Jenis mutasi yang berikutnya yaitu *nonsense mutation*. Jenis mutasi ini mengakibatkan tidak terbentuknya protein. Kapan hal ini terjadi? Perhatikan Gambar 6.3 berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 6.3**

Perbedaan susunan mRNA normal dan mRNA yang mengalami *nonsense mutation*

Pada gambar terlihat bahwa kodon kedua yaitu AAG mengalami mutasi sehingga menjadi UAG (penggantian basa A dengan basa U). Semula AAG merupakan kodon yang mengkode pembentukan lisin. Setelah basa A diganti dengan basa U menjadi UAG maka kodon ini tidak lagi mengkode lisin melainkan kodon yang mengakhiri pembacaan gen (kode "stop"). Telah Anda ketahui bahwa setiap sintesis protein selalu diawali dengan kodon AUG yang mengkode "start" dan diakhiri dengan kode "stop" misalnya kodon UAA. Adanya kode "stop" ini menyebabkan kodon ketiga (UUU) dan seterusnya (GGC dan UAA) tidak diterjemahkan. Dengan demikian, sintesis protein menjadi gagal.

Lakukan Eksperimen berikut agar Anda lebih memahami pengaruh mutasi terhadap pembacaan gen.



## Eksperimen 1

### Melakukan Simulasi Mutasi Gen dan Pengaruhnya terhadap Pembacaan Gen

Sediakan kertas HVS, kertas tebal seperti



Kertas warna merah  
mewakili sitosin



Kertas warna hijau  
mewakili guanin



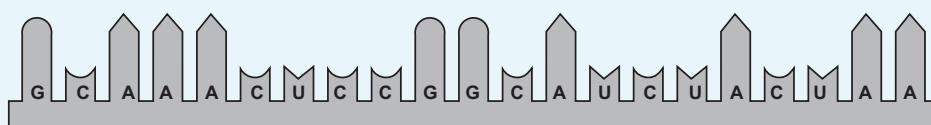
Kertas warna kuning  
mewakili urasil



Kertas warna biru mewakili  
adenin

Tuliskan pada potongan-potongan kertas huruf depan nama basa N yang diwakilinya. Siapkan kertas HVS sebagai alas untuk menyusun

karton dengan 4 macam warna (misalnya merah, biru, kuning, dan hijau), gunting, dan spidol warna hitam. Potong-potong kertas tebal tersebut dengan bentuk berikut.



Tuliskan nama-nama asam amino dengan cara mencocokkan kode-kode basa N dengan tabel kode genetik mRNA kemudian susun 3 rantai mRNA yang baru sama seperti rantai yang telah Anda susun. Gantilah salah satu nukleotida pada susunan rantai pertama sehingga menyebabkan *silent mutation*. Lanjutkan mengganti salah satu nukleotida pada susunan rantai kedua dan ketiga sehingga berturut-turut terjadi *missense mutation* dan *nonsense mutation*. Mintalah kepada bapak atau ibu guru untuk mengecek kebenaran susunan rantai nukleotida yang telah Anda susun.

potongan-potongan kertas. Susunlah potongan-potongan kertas tersebut seperti berikut.

Setelah melakukan kegiatan di atas, jawablah pertanyaan berikut.

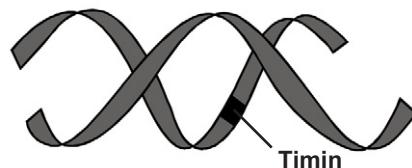
1. Sebutkan 3 macam mutasi.
2. Sebutkan perubahan-perubahan pada rantai nukleotida sehingga menyebabkan terjadinya 3 macam mutasi berdasarkan kegiatan yang telah Anda lakukan.
3. Bila nukleotida U pada kodon ketiga diganti oleh nukleotida A, mutasi apa yang terjadi?

Buatlah laporan tertulis dari kegiatan ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

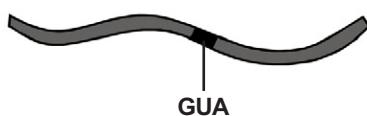
Salah satu contoh mutasi gen pada manusia yang menyebabkan terjadinya perubahan fungsi akibat terbentuknya protein baru yaitu kelainan *sickle-cell anemia*. Gen penderita kelainan ini mengalami penggantian 1 jenis basa dan menghasilkan kesalahan dalam susunan rantai polipeptida asam amino pada molekul hemoglobin. Perhatikan susunan nukleotida pada DNA hemoglobin normal dan DNA hemoglobin mutan di samping. Hemoglobin yang tidak normal ini menyebabkan sel darah merah berbentuk bulan sabit. Sel darah merah abnormal tersebut lebih cepat rusak daripada sel darah merah normal sehingga penderita mengalami anemia. Anemia yang berat dapat menimbulkan kematian.

Terjadinya *sickle-cell anemia* dijelaskan dalam uraian berikut.

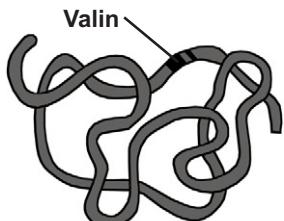
- a. Molekul DNA mengalami mutasi berupa penggantian basa timin dengan adenin pada rantai nukleotida.



- b. mRNA menghasilkan triplet kodon GUA (menggantikan GAA).



- c. Asam amino yang dihasilkan berupa valin (menggantikan asam glutamat).



- d. Molekul hemoglobin yang tersusun dari rantai asam amino abnormal ini dinamakan hemoglobin-S.



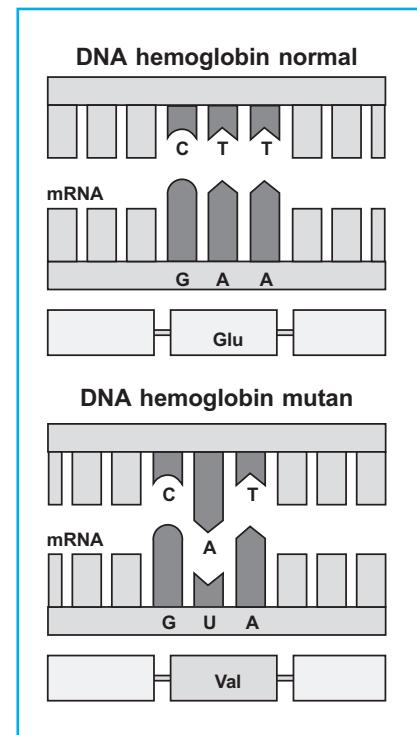
- e. Hemoglobin-S menyebabkan sel darah merah berbentuk seperti bulan sabit. Sel darah abnormal tidak mampu mengangkut oksigen secara efisien dan sifatnya cepat rusak sehingga penderita mengalami anemia.



Gen yang mengalami mutasi (gen mutan) penyebab *sickle-cell anemia* bersifat intermediat (kodominan). Dalam keadaan dominan homozigot, seseorang akan menderita kelainan tersebut dan menyebabkan kematian. Dalam keadaan heterozigot, kemungkinan menderita *sickle-cell anemia* berkisar 30–40% dan yang lainnya dalam keadaan normal karier. Individu-individu heterozigot lebih sedikit menderita *sickle-cell anemia* dan jarang sampai terjadi kematian. Perbedaan alel normal dan alel penyebab *sickle-cell anemia* dapat Anda lihat pada gambar 6.4.

Contoh lain akibat adanya mutasi gen yaitu tumor dan kanker. Tumor merupakan sekelompok sel hasil pembelahan yang tidak terkendali dari sel normal. Ada dua jenis tumor berdasarkan sifatnya, yaitu jinak dan ganas. Sel-sel tumor jinak mengalami pembelahan relatif lebih lambat dibandingkan dengan sel-sel pada tumor ganas. Tumor ganas sering dikenal sebagai kanker.

Penyakit kanker pada awalnya timbul pada sel-sel tertentu di dalam tubuh. Sel-sel tersebut akan membelah terus-menerus tanpa membentuk suatu fungsi khusus. Pada suatu saat, beberapa bagian sel terlepas kemudian diangkut dalam cairan getah bening dan darah ke bagian lain tubuh. Sel-sel kanker tertanam dan tumbuh menjadi tumor-tumor baru. Peristiwa



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 6.4**

Perbedaan alel normal dan alel penyebab *sickle-cell anemia*

tersebut dinamakan **metastasis**. Pembelahan sel-sel kanker sangat cepat sehingga seringkali menimbulkan kematian bila terlambat ditangani. Hal ini karena pertumbuhan sel-sel kanker mendesak pertumbuhan sel-sel normal.

Hilangnya heterozigot pada beberapa wilayah dalam kromosom 21 diketahui menyebabkan berbagai jenis tumor, di antaranya kanker leher dan kepala, kanker payudara, pankreas, mulut, usus, esophagus, dan kanker paru-paru. Ketiadaan heterozigot pada penderita kanker tersebut mengindikasikan kemungkinan adanya gen penghambat tumor pada kromosom 21.

Berikut ini disajikan mengenai kanker payudara yang seringkali dianggap sebagai momok bagi kaum wanita. Namun, pria juga berisiko menderita kanker payudara, meskipun persentasenya sangat kecil. Bacalah artikel ini baik-baik setelah membacanya, semoga Anda dapat berjaga-jaga dari serangan kanker payudara (utamanya kaum wanita).

### Kanker Payudara, yang Penting dan Perlu Diketahui

Kanker payudara merupakan masalah yang besar, di Indonesia maupun di negara lain. Di Amerika Serikat, diperkirakan jumlah kasus baru pada tahun 2003 akan mencapai 211.300 orang dan 39.800 pasien meninggal akibat kanker payudara pada tahun yang sama. Di Indonesia kanker payudara berada di urutan kedua sebagai kanker yang paling sering ditemukan pada perempuan, setelah kanker mulut rahim. Penelitian di Jakarta Breast Center pada April 2001 sampai dengan April 2003 menunjukkan bahwa 2.834 orang yang memeriksakan benjolan di payudaranya, 368 orang (13%) terdiagnosa kanker payudara.

Kanker payudara adalah tumor ganas yang berasal dari sel payudara. Selnya berkembang tanpa kontrol, melebihi perkembangan sel normal dan menyebar ke jaringan organ lain.

Tidak semua benjolan di payudara merupakan kanker, kebanyakan bersifat jinak. Penelitian di Jakarta Breast Center menunjukkan dari 2.834 orang yang memeriksakan benjolan di payudaranya, 2.229 di antaranya (78,6%) merupakan tumor jinak (*fibrocystic disease of the breast, fibroadenoma mamae, cysta, lymphoma, mammari displasia*), 368 orang (13%) terdiagnosa kanker payudara, dan sisanya merupakan infeksi (abses) dan kelainan bawaan payudara (*mammaria aberans*).

#### Faktor risiko:

1. Jenis kelamin wanita.
2. Usia.  
Angka kejadian kanker payudara meningkat seiring dengan bertambahnya usia. Pada usia 30–40 tahun kemungkinan terkena kanker payudara adalah 1 di antara 252 orang, pada usia 40–50 tahun angka itu meningkat menjadi 1 di antara 68 orang, pada usia 50–60 tahun menjadi 1 di antara 35 orang, dan pada usia 60–70 tahun 1 di antara 27 orang.
3. Riwayat tumor atau kanker payudara sebelumnya.
4. Menstruasi pertama pada atau di bawah usia 11 tahun.
5. Menopause terlambat.
6. Belum pernah melahirkan dan tidak menyusui.

Kanker bukan penyakit yang menular ataupun menurun. Sebagian kecil (5–10%) kanker payudara berasal dari kalangan keluarga risiko tinggi kanker payudara. Untuk 5–10% kanker payudara yang terkait dengan keturunan tersebut, faktor genetik memegang peranan penting. Mutasi dua gen tertentu yang dinamakan gen BRCA 1 dan BRCA 2 ternyata mempunyai hubungan erat dengan risiko kanker payudara, kanker indung telur, atau keduanya. Artinya, sebagian besar (50–85%) wanita dengan mutasi gen BRCA 1 atau BRCA 2 akan sakit kanker payudara di kemudian hari.

Kanker payudara dapat ditemukan secara dini dengan pemeriksaan sadari, pemeriksaan klinik, dan pemeriksaan mamografi. Deteksi dini dapat menekan angka kematian sebesar 25–30%.

#### 1. Pemeriksaan Sadari (Periksa Payudara Sendiri atau *Breast Self Examination*)

Semua wanita di atas usia 20 tahun sebaiknya melakukan sadari setiap bulan dan segera periksakan diri ke dokter bila ditemukan benjolan.

#### 2. Pemeriksaan Klinik

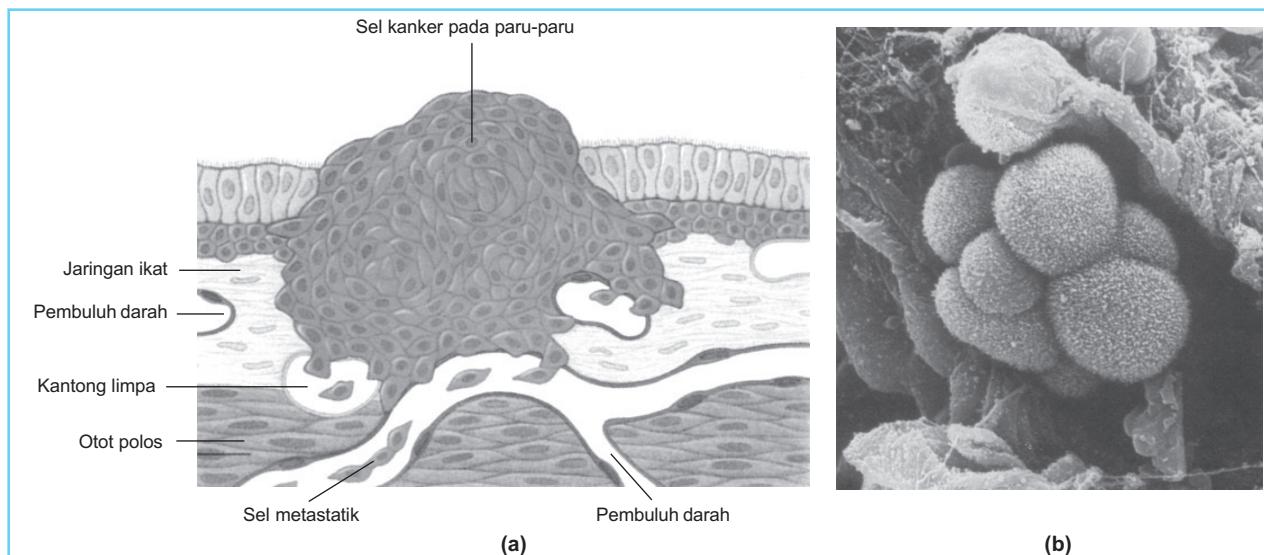
Pada usia 20–39 tahun setiap wanita sebaiknya memeriksakan payudaranya ke dokter tiap 3 tahun sekali. Pada usia 40 tahun ke atas sebaiknya dilakukan tiap tahun.

#### 3. Pemeriksaan Mamografi

Mamografi adalah pemeriksaan sinar-X terhadap payudara. Skrining kanker payudara dengan mamografi dianjurkan untuk perempuan berusia lebih dari 40 tahun dengan risiko standar. Untuk wanita dengan risiko tinggi (khususnya dengan mutasi gen tersebut di atas) mamografi sebaiknya dimulai pada usia 25 tahun atau pada usia 5 tahun lebih muda dari anggota keluarganya yang termuda yang mempunyai riwayat kanker payudara. Misalnya ada kakaknya menderita kanker pada usia 26 tahun, maka adiknya sebaiknya memulai pemeriksaan mamografi pada usia 21 tahun.

Dikutip dari: <http://www.medicinal-jk.com/Vol4no2/kankeryangperludiketahui.htm>

Kanker lain yang perlu diwaspada di antaranya kanker paru-paru. Salah satu penyebab kanker paru-paru yaitu rokok. Rokok mengandung banyak bahan kimia yang bersifat karsinogenik. Bahan-bahan kimia tersebut antara lain, vinil klorida (bahan plastik PVC), karbon monoksida (hasil pembakaran tidak sempurna), cadmium (dipakai pada aki mobil), polonium (bersifat radioaktif), arsenik (sering terdapat pada racun tikus), aseton (bahan utama penghapus cat), dan hidrogen sianida (gas beracun). Perhatikan sel kanker pada permukaan dalam paru-paru dan alveolus pada Gambar 6.5 berikut.



Sumber: *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 6.5**

Sel kanker pada permukaan bagian dalam paru-paru (a) dan pada alveolus (b)

Selain kanker paru-paru, penyakit yang dapat dipicu oleh rokok yaitu kanker tenggorok dan kanker pita suara. Jenis-jenis kanker dari hari ke hari selalu bertambah. Jumlah penderitanya pun semakin besar. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya bahan-bahan atau zat yang menimbulkan mutasi masuk ke tubuh.

Anda telah mengenali berbagai macam mutasi gen dan gangguan pada tubuh akibat mutasi tersebut. Selanjutnya Anda dapat mencermati mengenai mutasi kromosom. Pada umumnya orang yang mengalami mutasi kromosom mengalami kelambatan dalam perkembangan mental.

## 2. Mutasi Kromosom (Mutasi Besar)

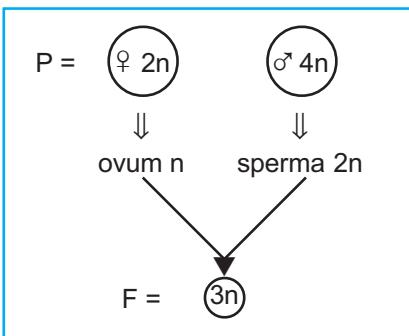
Mutasi kromosom merupakan perubahan kromosom sehingga menimbulkan perubahan sifat yang diturunkan pada generasi berikutnya. Sebagian besar mutasi kromosom disebabkan oleh kesalahan pada proses meiosis, misalnya terjadi pindah silang atau tautan. Mutasi kromosom dapat dibedakan sebagai berikut.

### a. Perubahan Set Kromosom (*Euploid*)

Pada umumnya makhluk hidup mempunyai  $2n$  kromosom (diploid). Kadang-kadang inti sel suatu organisme mengalami kesalahan dalam proses pembelahan sehingga mengalami perubahan jumlah kromosom di dalam inti sel,

Ingin kembali peristiwa pindah silang dan pautan pada bab V Biologi Kelas XII.





Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 6.6**

Perkawinan 2 individu yang menghasilkan organisme triploid

misalnya menjadi  $3n$  (triploid),  $4n$  (tetraploid), dan seterusnya. Organisme yang mempunyai jumlah kromosom lebih dari  $2n$  dinamakan **poliploidi**. Poliploidi dapat terjadi karena pada waktu sel menduplikasi DNA-nya tidak dilanjutkan dengan pembelahan sel. Poliploidi umumnya terjadi pada tumbuhan, sedangkan pada hewan sangat jarang karena bersifat letal.

Poliploidi dapat terjadi melalui berbagai cara, di antaranya melalui perkawinan ataupun perlakuan zat kimia. Perkawinan antara dua gamet yang mempunyai jumlah kromosom berbeda, dapat menghasilkan zigot yang jumlah kromosomnya merupakan gabungan dari jumlah kromosom kedua gamet tersebut. Misalnya saja, gamet jantan dihasilkan dari individu  $4n$  dan gamet betina dari individu  $2n$ . Gamet jantan bersifat  $2n$  dan gamet betina bersifat  $n$ . Jika kedua gamet tersebut bergabung maka zigot yang terbentuk dapat bersifat  $3n$ . Organisme triploid umumnya bersifat steril. Organisme tersebut hanya dapat diperbanyak secara aseksual. Tipe penggandaan set kromosom dari hasil penyatuan gamet dinamakan **allopoliploidi**. Perhatikan jumlah kromosom pada Gambar 6.6 di samping.

Tipe penggandaan set kromosom yang lain yaitu **autopoliploidi**. Tipe penggandaan ini bukan merupakan hasil penyatuan gamet dari dua individu, tetapi merupakan penggandaan set kromosom individu. Autopoliploidi dapat dipacu dengan zat kimia, misalnya kolkisin. Pemberian kolkisin pada tanaman menyebabkan penggandaan set kromosom pada suatu individu, misalnya dari  $2n$  menjadi  $3n$ ,  $4n$ ,  $5n$ , dan seterusnya. Pembuatan tanaman poliploidi akan dibahas lebih lanjut pada subbab 2.

### b. Perubahan Jumlah Kromosom (*Aneuploidi*)

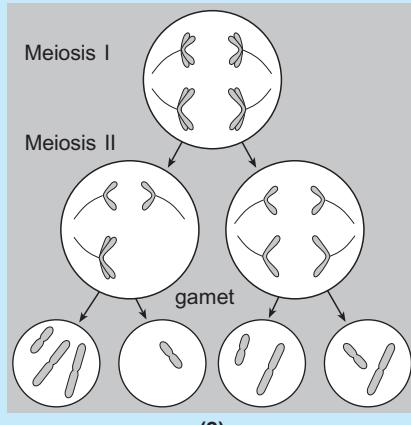
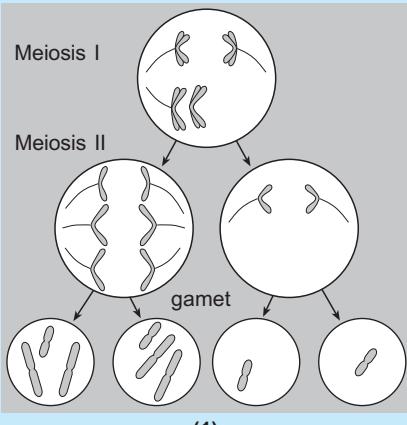
Aneuploidi merupakan suatu keadaan keturunan yang mempunyai kromosom kurang atau lebih dari jumlah kromosom induknya. Aneuploidi dapat terjadi karena hal berikut.

- 1) *Anafase lage*, yaitu tidak melekatnya kromatid pada gelendong pada waktu anafase meiosis I sehingga kromatid tidak terpisah pada 2 kutub yang berlainan. Keadaan ini menyebabkan kromatid terdapat lebih banyak pada salah satu kutub pembelahan sehingga mempengaruhi jumlah kromosom setelah proses-proses meiosis selesai. Hal ini berarti kromosom pada sel anakan yang satu lebih banyak daripada sel anakan yang lain.
- 2) *Nondisjunction* (gagal berpisah), yaitu gagal berpisahnya kromosom homolog pada waktu anafase dari meiosis I atau meiosis II. Oleh karena kromosom tidak terpisah maka terdapat lebih banyak kromosom pada sel anakan yang satu daripada yang lain setelah mengalami pemisahan.

Lakukan kegiatan berikut agar Anda lebih paham mengenai proses *nondisjunction* yang dapat menghasilkan variasi jumlah kromosom pada organisme.



## Forum Diskusi



Berdasarkan pengamatan gambar di atas, diskusikan pertanyaan berikut.

- Pada proses apakah pembelahan meiosis terjadi?
- Pada pembelahan meiosis ke berapa dapat terjadi *nondisjunction*? Ceritakan proses *nondisjunction* pada gambar (1) dan (2).
- Berapa jumlah kromosom gamet yang mungkin terjadi akibat *nondisjunction* tersebut?
- Bagaimana jumlah kromosom gamet-gamet abnormal tersebut jika dibuang oleh gamet normal?

Tulislah hasil diskusi kelompok Anda dalam buku kerja. Selanjutnya, presentasikan di depan kelas.

*Nondisjunction* dapat terjadi pada autosom maupun kromosom seks. Aneuploidi pada autosom dapat mengakibatkan organisme yang dalam keadaan normal ( $2n$ ) mengalami perubahan jumlah kromosom menjadi  $2n - 1$  (monosomik, yaitu mutasi karena kekurangan satu kromosom),  $2n - 2$  (nulusomik, yaitu mutasi karena kekurangan 2 kromosom),  $2n + 1$  (trisomik, yaitu mutasi karena kelebihan 1 kromosom),  $2n + 2$  (tetrasomik, yaitu mutasi karena kelebihan 2 kromosom), dan seterusnya.

*Nondisjunction* autosom pada manusia, salah satunya dapat mengakibatkan sindrom Down. Kelainan ini mula-mula disebut *mongolisme* karena penderita mempunyai mata sipit, mirip dengan bangsa Mongol. Sindrom Down paling sedikit 200 ribu anak di seluruh Indonesia dan 8 juta manusia di seluruh dunia pada tahun 2000. Sindrom Down bukan merupakan penyakit genetik yang diturunkan, tetapi disebabkan oleh kromosom 21 yang memiliki 2 kembaran. Lakukan kegiatan diskusi berikut untuk mengetahui kariotipe penderita sindrom Down.



## Tahukah Anda

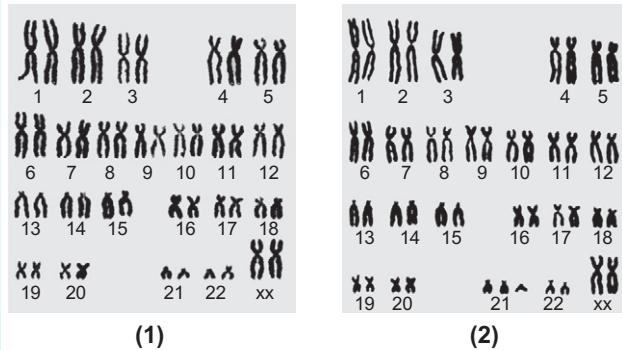
### Analisis Kromosom 21

Kromosom 21 tersusun atas rantai panjang yang memiliki sekuen DNA sepanjang 33.546.361 pasang basa. Panjang totalnya ± 33,65 juta pasang basa. Kromosom 21 mempunyai 225 gen dan 59 pseudogen. Pseudogen merupakan gen sampah yang sebelumnya pernah aktif, tetapi kemudian tidak aktif lagi akibat mutasi.

Sumber: [http://www.icbb.org/indonesia/manusia/down\\_kromo21.htm](http://www.icbb.org/indonesia/manusia/down_kromo21.htm)



## Forum Diskusi



Perhatikan dua kariotipe di atas kemudian diskusikan bersama teman sekelompok Anda mengenai hal berikut.

1. Berapa jumlah seluruh kromosom pada kariotipe (1) dan (2)?
  2. Sebutkan perbedaan susunan kromosom pada kedua kariotipe di atas.
  3. Kariotipe mana yang menunjukkan kariotipe penderita sindrom Down?

Tulislah hasil diskusi kelompok Anda dalam buku kerja. Selanjutnya, presentasikan di depan kelas.

Kesalahan penggandaan kromosom 21 berhubungan erat dengan usia wanita saat mengandung. Wanita yang hamil pada umur belasan mempunyai kemungkinan melahirkan anak penderita sindrom Down 1 : 1.000. Pada usia 40 tahun, kemungkinannya menjadi 1 : 100. Di atas usia 45 tahun, seorang ibu berisiko 3 kali lebih besar untuk melahirkan anak yang sindrom Down.

Kelambatan mental merupakan ciri utama penderita sindrom Down. Selain itu, anak yang sindrom Down seringkali juga menderita penyakit jantung bawaan, perkembangan abnormal pada tubuh, alzheimer semasa muda, leukemia, defisiensi sistem pertahanan tubuh, serta berbagai problem kesehatan yang lain. Perhatikan penderita sindrom Down pada Gambar 6.7 di samping.

Selain sindrom Down, manusia juga dapat mengalami sindrom Patau. Sindrom Patau disebabkan oleh penambahan satu kromosom pada kromosom 13. Penderita sindrom Patau dapat memiliki kelainan yang bervariasi, misalnya sebagai berikut.

- a) Berat badan ketika lahir rendah
  - b) Kelainan tulang tengkorak dan wajah:
    - kepala kecil dengan dahi landai,
    - hidung lebar dan rata, serta
    - sumbing pada bibir disertai dengan atau tanpa sumbing palatum.
  - c) Kelainan mata:
    - buta,
    - mata kecil, dan
    - katarak.



Sumber: [www.flickr.com](http://www.flickr.com)

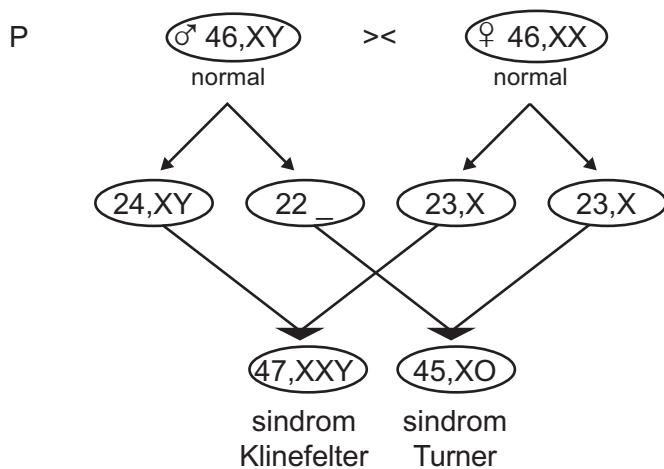
## Gambar 6.7

Kesalahan penggandaan kromosom 21 mengakibatkan sindrom Down

- d) Kelainan telinga:
  - tuli dan
  - radang telinga tengah berulang (*otitis media rekurens*).
- e) Kelainan tulang tulang belakang tipis dengan atau tanpa disertai hilangnya tulang dada.
- f) Kelainan ekstremitas:
  - berjari lebih dari 5 (polidaktili),
  - ketiadaan sebagian/seluruh jari (ekstrodaktili),
  - kuku jari sempit dan sangat cembung, dan
  - tumit menonjol ke belakang.

Sindrom Patau jarang ditemukan pada anak-anak dan tidak pernah pada orang dewasa. Karena begitu banyaknya variasi kelainan yang menyebabkan kematian. Hal yang sama ditemukan pada penderita sindrom Edward. Sindrom Edward disebabkan oleh penambahan satu kromosom pada kromosom 18. Lebih dari 90% penderita meninggal dunia dalam 6 bulan pertama setelah lahir. Penderita mengalami banyak bentuk kelainan pada alat-alat tubuh, telinga rendah, rahang bawah rendah, mulut kecil, tuna mental, dan tulang dada (sternum) pendek.

Selama pembelahan sel, kromosom seks kadang-kadang juga mengalami *nondisjunction*. Pada manusia peristiwa ini akan mengakibatkan berbagai variasi kromosom pada gamet. Keturunan yang dihasilkan di antaranya dapat mengalami sindrom Turner (XO), sindrom Klinefelter (XXY), sindrom Triple-X (XXX) atau wanita super, dan pria XYY. Diagram berikut menunjukkan proses terbentuknya beberapa variasi kromosom pada gamet.



Adanya variasi kromosom pada gamet tersebut menyebabkan perubahan fisik maupun psikologis bagi penderita. Sebelum Anda mengetahui beberapa ciri fisik dan psikologis penderita beberapa kelainan kromosom, lakukan Tugas kelompok berikut.



## Tugas Kelompok

Carilah informasi melalui buku-buku referensi mengenai jenis kelainan lain yang diakibatkan karena adanya perubahan jumlah autosom dan ciri-ciri yang ada pada penderitanya. Setelah itu, susunlah laporan dan presentasikan di depan kelas.



### Tahukah Anda

#### Amniosentesis untuk Mengetahui Kelainan Kromosom

Kemajuan di bidang kedokteran memungkinkan para dokter untuk mengetahui adanya kelainan akibat mutasi pada janin. Cara tersebut dinamakan amniosentesis. Amniosentesis umumnya dilakukan pada saat kehamilan 14–16 minggu dengan cara mengambil cairan amnion yang mengandung sel-sel bebas dari fetus menggunakan jarum injeksi. Sel-sel fetus dibiakkan di laboratorium kemudian diperiksa kromosomnya untuk dibuat kariotipnya. Berdasarkan kariotip tersebut dapat diketahui kelainan kromosom yang terjadi.

Beberapa ciri fisik dan psikologis penderita kelainan kromosom sebagai berikut.

a) *Sindrom Turner (XO)*

Fenotip berupa perempuan normal. Akan tetapi, ia kehilangan sebuah kromosom X sehingga hanya memiliki 45 kromosom, dengan formula kromosom 22AAXO. Wanita demikian biasanya disebut wanita XO. Ciri-ciri yang terdapat padanya antara lain tubuh pendek, tidak mengalami haid karena steril, ciri kelamin sekunder tidak tumbuh sempurna, leher pendek, dan di samping leher terdapat lipatan kulit yang mudah ditarik ke samping, serta umumnya mengalami keterlambatan mental.

b) *Sindrom Klinefelter (XXY)*

Fenotip berupa laki-laki normal terutama saat kanak-kanak. Ia memiliki kelebihan sebuah kromosom X sehingga memiliki 47 kromosom, dengan formula 22AAXXY. Laki-laki demikian biasanya disebut laki-laki XXY. Ciri-ciri tubuh keseluruhan tampak panjang, pinggul lebar, buah dada membesar, testis mengecil, dan mandul.

c) *Sindrom Triple-X (XXX) atau wanita super*

Wanita ini memiliki kelebihan sebuah kromosom X sehingga memiliki 47 kromosom dengan formula 22AAXXX atau disebut wanita XXX. Hidupnya tidak lama, dan biasanya meninggal saat masih kanak-kanak, karena banyak alat tubuh yang mengalami pertumbuhan tidak sempurna.

d) *Pria XYY*

Pria XYY (sindrom Jacob) merupakan manusia dengan fenotip yang memiliki jumlah kromosom 47, dengan formula 22AAXYY. Tubuh pria ini hampir sama dengan pria pada umumnya, tetapi kadang berukuran lebih tinggi. Tahun 1965, Jacobs dan kawan-kawan melakukan studi terhadap mereka. Pria XYY lebih agresif dibanding pria normal sehingga orang tersebut cenderung berbuat jahat dan melanggar hukum.



## Tugas Mandiri

Mutasi dapat menyebabkan perubahan jumlah autosom maupun kromosom seks manusia. Berdasarkan materi yang telah diuraikan sebelumnya, lengkapilah tabel berikut.

No.	Kelainan	Jenis Kelamin	Kromosom
1.	Sindrom Down	Laki-laki, perempuan	47, XY, +21
2.			
3.			
4.			
5.			

Tulislah tabel jawaban Anda di papan tulis dan presentasikan di depan kelas.

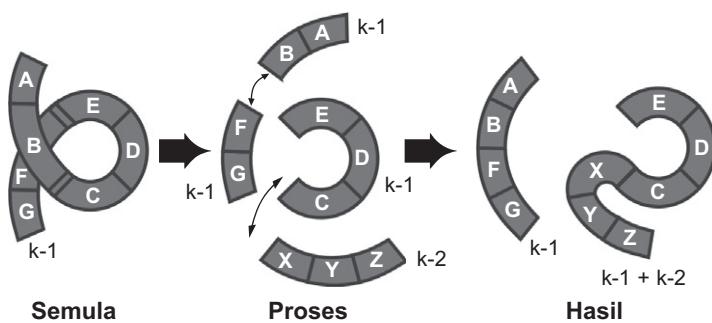
Anda telah mengenal adanya perubahan-perubahan informasi genetik berupa mutasi gen dan mutasi kromosom. Kedua macam mutasi tersebut menyebabkan kelainan pada tubuh organisme yang mengalami mutasi. Lebih lanjut, Anda akan mempelajari penyebab terjadinya mutasi lainnya, yaitu perubahan atau kerusakan struktur kromosom.

### c. Perubahan atau Kerusakan Struktur Kromosom

Mutasi karena perubahan struktur kromosom disebut juga **aberasi**. Aberasi dapat terjadi karena hal-hal berikut.

#### 1) Translokasi

Keadaan ini timbul bila suatu bagian dari satu kromosom pindah ke kromosom lain yang bukan homolognya. Perhatikan proses terjadinya translokasi pada Gambar 6.8 berikut.



Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Tooie

Gambar 6.8

Terjadinya translokasi kromosom

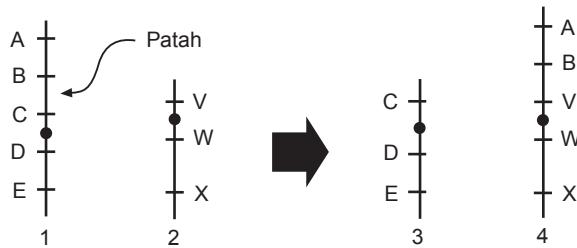
Pada gambar di atas ditunjukkan kromosom yang mempunyai alel ABCDEFG. Kromosom tersebut mengalami pematahan sehingga terbentuk 3 patahan kromosom, yaitu kromosom beralel AB, kromosom beralel EDC, dan kromosom beralel FG. Pada proses selanjutnya, kromosom beralel AB bergabung lagi dengan kromosom beralel FG dan kromosom beralel EDC bergabung dengan kromosom bukan homolog XYZ sehingga terbentuk kromosom EDCXYZ.

Kromosom mana yang merupakan hasil translokasi?

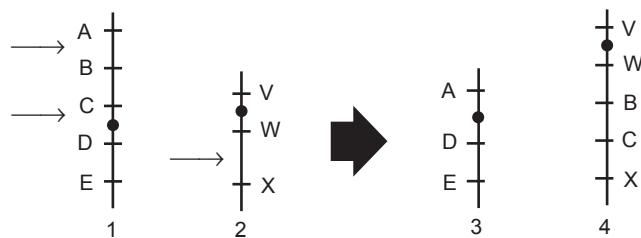


### Tipe-tipe translokasi

- a) *Tunggal*, satu pematahan tunggal pada satu kromosom dan bagian yang patah langsung pindah ke ujung kromosom lain.

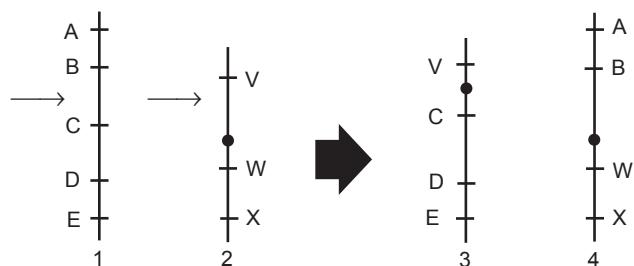


- b) *Perpindahan*, yang melibatkan tiga pematahan. Bagian tengah dari kromosom yang putus di dua tempat disisipkan pada kromosom lain yang putus pada satu tempat.



Setelah pematahan rangkap pada satu kromosom dan bagian yang patah pindah, ujung yang patah menggabung kembali karena lekat.

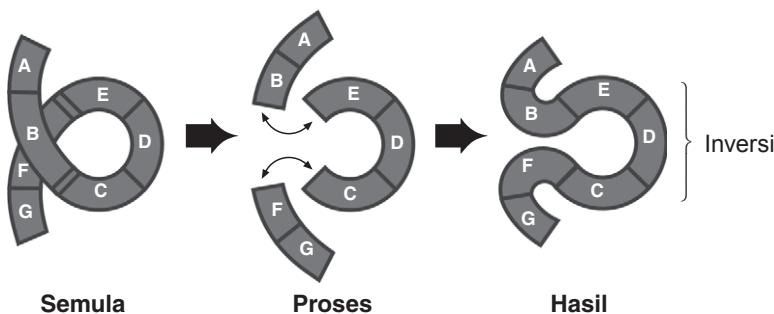
- c) *Resiprok (interchange)*, satu pematahan pada dua kromosom nonhomolog dan bagian yang patah saling tertukar. Tipe translokasi ini merupakan translokasi yang paling banyak terjadi.



## 2) Inversi

Susunan ini terjadi ketika kromosom patah di dua tempat yang diikuti dengan penyisipan kembali gen-gen pada kromosom yang sama dengan urutan terbalik.

Suatu inversi terjadi selama berpilinnya kromosom pada profase ketika satu bagian dari DNA melengkung. Pada inversi terjadi pematahan rangkap sehingga terbentuk dua ujung bebas yang bersifat "lengket" (bila dibandingkan dengan ujung normal yang tidak lengket) dan cenderung untuk menggabung kembali. Dalam penggabungan, bagian itu menjadi terbalik seperti terlihat pada Gambar 6.9 berikut.



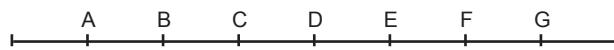
Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Tooie

**Gambar 6.9**

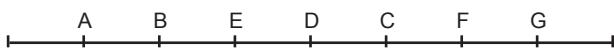
Skema terjadinya inversi pada kromosom

Perhatikan gambar di atas. Suatu kromosom mengalami pematahan menjadi 3 bagian dengan alel AB, CDE, dan FG. Setelah mengalami penggabungan kromosom, beberapa alel kromosom tersusun terbalik sehingga membentuk kromosom dengan alel ABEDCFG.

Pada satu kromosom normal, gen-gen tampak dalam susunan linear sebagai berikut.



Pada satu kromosom dengan inversi ada patahan antara B-C dan E-F yang diikuti dengan pelekatan kembali sehingga terjadi bentuk kromosom sebagai berikut.



Suatu individu yang mempunyai kromosom normal dan inversi disebut *inversi heterozigot*, serta biasanya membentuk lengkungan inversi (*inversion loop*).

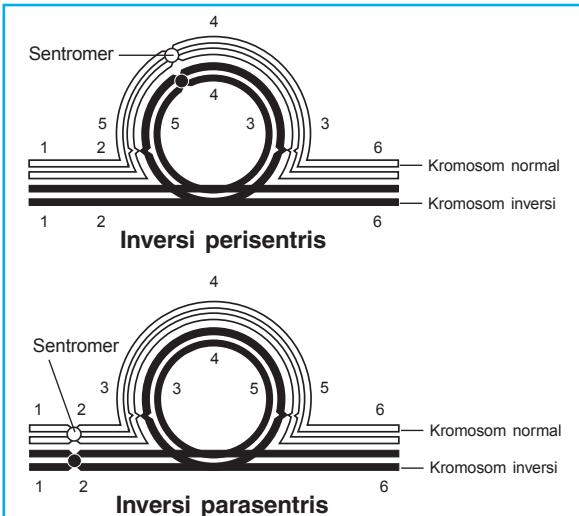
Perhatikan Gambar 6.10 di samping. Inversi dapat dibedakan menjadi dua tipe, yaitu inversi perisentris dan inversi parasentris.

#### a) *Inversi perisentris*

Pada peristiwa ini sentromer terletak di dalam lengkung inversi.

#### b) *Inversi parasentris*

Apabila inversi terjadi pada daerah kromosom yang tidak mempunyai sentromer, maka peristiwa tersebut dinamakan inversi parasentris.



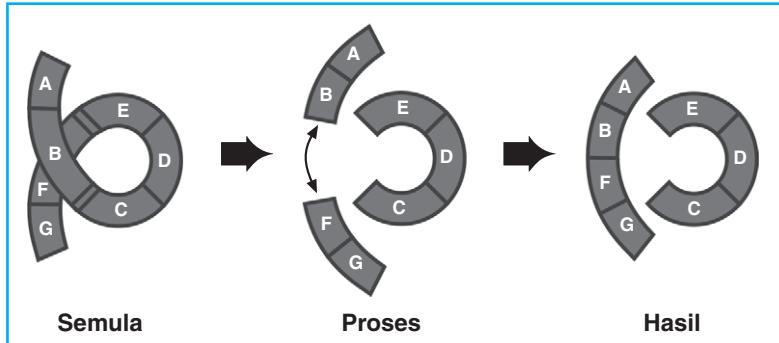
Sumber: *Genetika Manusia*, Suryo

**Gambar 6.10**

Tipe-tipe inversi kromosom

### 3) Delesi atau Defisiensi

Delesi atau defisiensi adalah pematahan kromosom terjadi di alam tanpa sebab yang jelas dan mengakibatkan hilangnya satu bagian kromosom. Terjadinya pematahan kromosom, dapat Anda perhatikan pada Gambar 6.11 berikut.



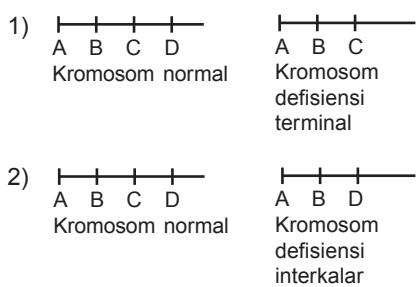
Sumber: Biology for Advanced Level, Glenn and Susan Toole

**Gambar 6.11**

Skema terjadinya delesi pada kromosom

Pada gambar tersebut, ditunjukkan suatu kromosom yang mempunyai alel ABCDEFG mengalami pematahan menjadi 3 bagian dengan alel AB, CDE, dan FG. Dalam proses selanjutnya, kromosom dengan alel AB bergabung dengan kromosom beralel FG tetapi kehilangan alel CDE.

Tipe-tipe delesi/defisiensi sebagai berikut.



- Delesi/defisiensi terminal* yaitu satu pematahan dekat ujung suatu kromosom yang mengakibatkan hilangnya bagian ujung tersebut.
- Delesi/defisiensi interkalar (interstitial)* yaitu dua pematahan di bagian tengah dari suatu kromosom yang mengakibatkan bagian tengah tersebut terlepas. Bagian yang terlepas tidak mempunyai sentromer dan hilang pada anafase selama mitosis. Bagian itu terdapat dalam sitoplasma, tetapi gen-gennya tidak berfungsi dan akhirnya bagian itu akan hilang.

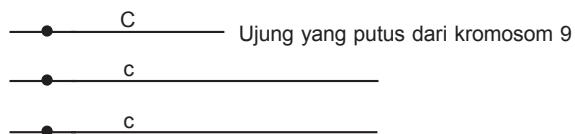
Contoh delesi pada jagung, yaitu terjadi pada butir-butir jagung belang-belang. Gen C diperlukan untuk perkembangan warna aleuron. Alel resesifnya tidak aktif sehingga aleuron tidak berwarna. Aleuron merupakan jaringan triploid sehingga mempunyai genotip Ccc berwarna.

Butir jagung belang-belang dapat terjadi akibat pematahan ujung kromosom (*delesi*), kemudian diikuti penggabungan ujung yang putus tersebut sehingga terbentuk jembatan pada anafase.

Kromosom dan kromatid yang lengkap mempunyai ujung yang stabil (*telomer*), tetapi apabila satu ujungnya putus akan menjadi lengket dan mudah melekat pada ujung lain yang patah.

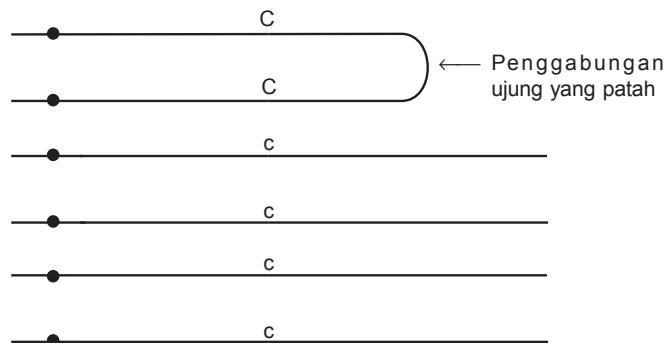
Proses terjadinya delesi/defisiensi pada jagung sebagai berikut.

a) *Kromosom awal*

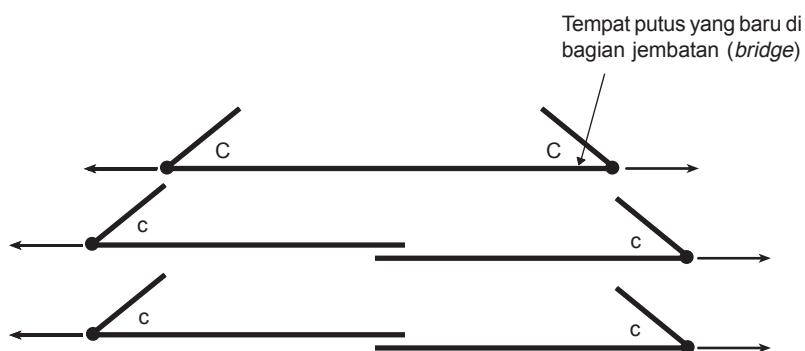


**Catatan:** Keadaan di atas menunjukkan kromosom triploid dalam satu sel dari lapisan aleuron (3n) yang memperlihatkan satu dari kromosom homolog dengan bagian ujungnya hilang.

b) *Proses pertama*



c) *Proses kedua*



d) *Hasil*



Kromosom membelah pada tahap profase pembelahan mitosis. Kromosom yang delesi menghasilkan satu kromosom homolog, juga merupakan kromosom delesi dan keduanya mempunyai ujung saling menarik dan bisa tergabung. Perhatikan gambar a) dan b).

Pada tahap anafase, kromatid memisah dan bergerak ke arah kutub yang berlawanan seperti ditunjukkan dengan anak panah pada gambar c). Kromosom yang membawa alel warna C telah tergabung dan membentuk jembatan yang kemudian membentang ketika sentromer membelah dan bergerak ke arah kutub.

Pada tahap telofase, terbentuk 2 nukleus. Akibat pematahan yang terjadi seperti pada gambar c) maka satu nukleus menerima dua gen untuk warna dan nukleus yang lain menerima bagian kromosom yang defisiensi. Perhatikan gambar d). Kromosom defisiensi mengakibatkan *dominansi palsu* yaitu penampakan sifat tak berwarna. Apabila beberapa sel mengandung delesi/

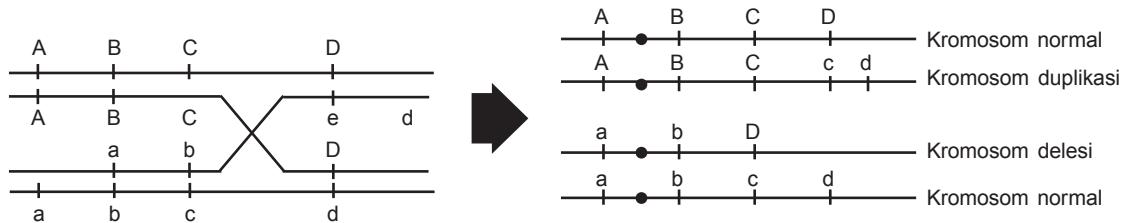
defisiensi, dapat terjadi sejumlah daur pematahan, penggabungan, dan terbentuknya jembatan yang menyebabkan butir-butir jagung belang-belang.

#### 4) Duplikasi

Keadaan ini timbul bila ada penambahan bahan kromosom sehingga suatu bagian kromosom terdapat lebih dari dua kali dalam satu sel diploid yang normal. Contohnya, kromosom normal yang mempunyai alel ABCDEFG. Setelah mengalami penambahan alel FG maka terbentuk kromosom baru dengan alel ABCDEFGFG. Perhatikan gambar 6.12 di samping.

Pematahan dua kromatid pada lokus yang berbeda diikuti dengan pertukaran bahan dan penggabungan kembali kromatid tadi. Hal ini akan menghasilkan satu kromatid dengan delesi dan yang lain dengan duplikasi. Proses pematahan, penggabungan, dan pembentukan jembatan seperti yang dijelaskan pada warna aleuron jagung mengakibatkan duplikasi maupun delesi bahan kromosom.

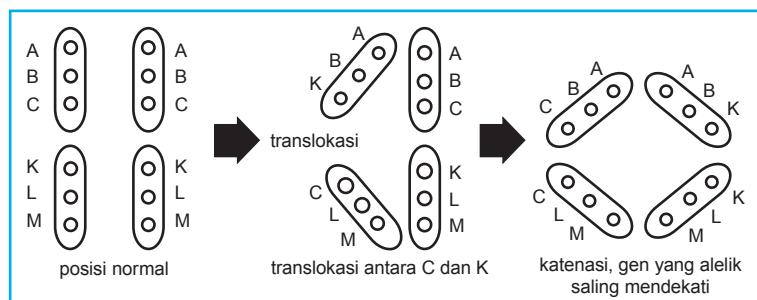
Pindah silang pada meiosis dapat terjadi pada pasangan kromosom yang agak meleset susunannya. Akibatnya duplikasi dan delesi terjadi bersama-sama seperti terlihat dalam diagram berikut.



Contoh delesi dan duplikasi dapat dilihat pada Gambar 6.13 di samping ini.

#### 5) Katenasi

**Katenasi** adalah kerusakan kromosom karena kromosom homolog ujungnya saling berdekatan sehingga membentuk lingkaran. Perhatikan Gambar 6.14 berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

#### Gambar 6.14

Skema terjadinya katenasi



## Uji Kompetensi A

Jawablah soal-soal berikut.

1. Suatu rantai mRNA mempunyai susunan: GCU ACC CCG UGC AUC mengalami perubahan dengan susunan baru sebagai berikut.
  - a. GCU ACC GCC UGC AUC
  - b. GCU GCC CGG UGC AUC
  - c. GCU ACC CGU GCA UC
  - d. GCU ACC CCG CUG CAU C
  - e. GCC UAC CCC GUG CAU CDinamakan perubahan apa yang terjadi pada susunan a, b, c, d, dan e?
2. Jelaskan mutasi yang terjadi pada penderita *sickle-cell anemia*.

3. Jenis-jenis kanker apa saja yang sering menyerang perokok berat?
4. Mutasi kromosom dapat terjadi karena perubahan set kromosom. Apa yang dimaksud perubahan set kromosom tipe alloploid dan autopoliploidi?
5. Akibat *nondisjunction*, kromosom manusia dapat mengalami perubahan jumlah pada autosom maupun seks kromosom.
  - a. Sebutkan 2 kelainan pada manusia yang mengalami perubahan jumlah autosom.
  - b. Sebutkan 2 kelainan pada manusia yang mengalami perubahan jumlah kromosom seks.

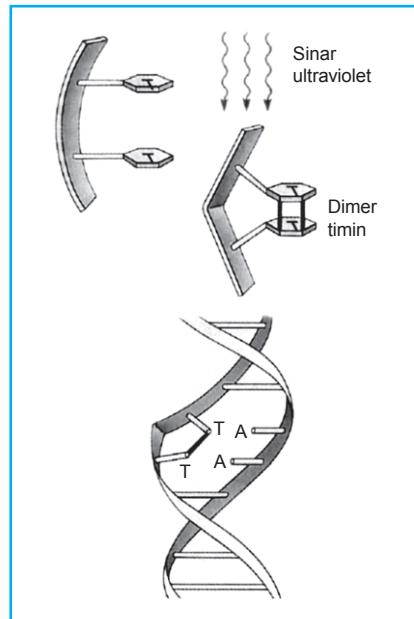
## B. Penyebab Mutasi dan Dampaknya bagi Kehidupan

Bahan-bahan atau zat yang dapat menyebabkan mutasi disebut **mutagen**. Secara garis besar, ada tiga macam mutagen yaitu bahan fisik, bahan kimia, dan bahan biologi.

Mutagen bahan fisik, misalnya sinar bergelombang pendek. Pada umumnya setiap bentuk radiasi dengan panjang gelombang lebih pendek daripada sinar tampak, dapat menyebabkan mutasi. Beberapa sinar radioaktif, seperti sinar alfa, sinar beta, sinar gamma, dan sinar-X merupakan penyebab terjadinya mutasi. Gen-gen yang terkena radiasi pengion akan terputus ikatannya sehingga terjadi ionisasi pada sel-sel pembentuk jaringan tubuh. Ionisasi terjadi jika elektron terlepas dari suatu atom dan bergabung dengan atom lainnya. Molekul-molekul DNA yang tersusun atas atom-atom yang terionisasi dapat menyebabkan gen menjadi labil dan mudah berubah. Perubahan susunan kimia gen tersebut menyebabkan fungsinya juga berubah. Selain oleh radiasi, temperatur yang terlalu tinggi atau terlalu rendah juga dapat menyebabkan mutasi.

Mutasi akibat sinar ultraviolet (UV) tidak menyebabkan timbulnya radikal bebas. Di dalam DNA, sinar UV akan terserap oleh basa pirimidin, yaitu timin dan sitosin. Energi dari sinar UV tersebut menyebabkan terjadinya ikatan silang antarpirimidin yang berdekatan sehingga membentuk dimer pirimidin. Perhatikan pembentukan dimer timin pada Gambar 6.15 di samping. Pembentukan dimer pirimidin mengakibatkan perubahan pembentukan asam amino. Orang-orang yang terlalu banyak mendapatkan paparan sinar matahari yang terik dapat menderita tumor atau kanker kulit.

Pada masa modern yang serba canggih, kita tidak dapat terlepas dari berbagai bahan kimia yang dapat menimbulkan mutasi. Bahan kimia banyak digunakan dalam berbagai kegiatan industri, pertanian, dan rumah tangga. Bahan-bahan kimia seperti dimetil sulfat dan nitro metil sulfat dapat menyebabkan reaksi antara gugus alkil dengan



Sumber: Biology, Raven & Johnson

Gambar 6.15

Pembentukan dimer timin akibat sinar UV

gugus fosfat DNA yang dapat mengganggu replikasi DNA. Beberapa bahan kimia lain yang menyebabkan perubahan pada basa nitrogen, misalnya  $\text{HNO}_2$  (asam nitrit) dan  $\text{NH}_2\text{OH}$  (hidroksil amin). Jika  $\text{HNO}_2$  bereaksi dengan adenin, maka terbentuk zat baru yang dinamakan hipoxanthin. Zat tersebut menempati kedudukan yang sebelumnya ditempati adenin dan berpasangan dengan sitosin, bukan lagi dengan timin. Proses deaminasi tersebut menyebabkan perubahan asam amino yang dibentuk. Basa N lain, seperti guanin dan sitosin juga dapat mengalami deaminasi oleh adanya  $\text{HNO}_2$ .

### Tahukah Anda

#### Penerapan Teknologi Analisis DNA dalam Menanggulangi Cacat Genetik Hewan Ternak

Seleksi secara konvensional biasanya dilakukan untuk menghindari cacat genetik pada hewan ternak. Cara tersebut dilakukan dengan membuat catatan reproduksi dan silsilah. Kelemahan seleksi konvensional yaitu membutuhkan waktu lama dan biaya yang mahal. Cara lainnya, yaitu menggunakan teknik analisis DNA. Ternak yang akan dijadikan bibit unggul, dianalisis DNA-nya dahulu. Setelah dianalisis, hanya hewan ternak yang mengandung DNA normal saja yang dijadikan bibit unggul.



### Tugas Mandiri

Banyak bahan kimia bersifat mutagen. Di antaranya telah dibahas pada uraian di atas. Setiap bahan kimia mempunyai rumus bangun tertentu sehingga pengaruhnya terhadap susunan gen juga berbeda. Carilah informasi mengenai bahan kimia lain yang bersifat mutagen serta macam mutasi yang diakibatkannya. Buatlah laporan tertulis dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

Bahan biologi yang menyebabkan mutasi, antara lain bakteri dan virus. Misalnya, bagian dari virus yang mampu mengadakan mutasi yaitu asam nukleatnya. Virus Epstein-Bar merupakan salah satu penyebab mutasi pada sel tubuh manusia. Beberapa jenis virus dan bakteri mempunyai kemampuan memindahkan potongan gen dari satu individu ke individu lain. Jenis-jenis virus dan bakteri tersebut umumnya dimanfaatkan dalam penelitian-penelitian di bidang bioteknologi, terutama dalam teknik rekombinan. Anda akan mempelajari teknik rekombinan lebih lanjut pada Bab Bioteknologi.

Mutagen dapat menyebabkan mutasi secara alami dan buatan. Mutasi alami dapat terjadi secara spontan oleh faktor-faktor alam, seperti sinar kosmis, radioaktif alam, perubahan temperatur yang tinggi, dan sinar ultraviolet. Namun, mutasi alami hanya terjadi secara kebetulan dan sangat jarang terjadi.

Individu-individu yang mengalami mutasi disebut **mutan**. Sifat-sifat yang diwariskan oleh mutan umumnya bersifat resesif dan merugikan bagi mutan dan keturunannya. Perkawinan sedarah (*in-breeding*) merupakan salah satu faktor yang memperbesar kemungkinan terbentuknya individu-individu cacat akibat mutasi. Contoh kelainan-kelainan pada manusia akibat mutasi telah Anda pelajari pada subbab A. Perhatikan contoh-contoh mutasi yang terjadi pada hewan ternak berikut.

**Tabel 6.1** Contoh-Contoh Mutasi yang Terjadi pada Hewan

No.	Spesies	Cacat Genetik	Ciri-Ciri
1.	Sapi potong Hereford	Cebol ( <i>dwarfism</i> )	Cebol dan mati menjelang dewasa.
2.	Sapi perah	<i>Cerebral hernia</i>	Tulang kepala bagian atas terbuka disebabkan oleh gagalnya pembentukan tulang pada tahap embrio. Anak sapi langsung mati setelah lahir.

No.	Spesies	Cacat Genetik	Ciri-Ciri
3.	Kuda Thoroughbred	Bleeding	Pembuluh darah di bagian mukosa hidung sangat rapuh sehingga dapat menyebabkan pendarahan.

Kebanyakan mutan bersifat steril (mandul) dan tidak mampu bertahan hidup dalam waktu yang lama. Hanya mutan-mutan yang mampu beradaptasi dengan lingkungan saja yang tetap hidup. Jika mutasi selalu terjadi dalam waktu yang cukup lama maka ada kemungkinan akan terbentuk individu baru yang mempunyai ciri-ciri dan sifat yang berbeda dengan generasi pendahulunya. Mekanisme tersebut menyebabkan terjadinya evolusi makhluk hidup.

Meskipun sebagian besar mutasi alami bersifat merugikan, tetapi beberapa di antaranya menghasilkan mutan yang sifatnya menguntungkan bagi manusia. Contoh mutasi alami pada tumbuhan yaitu munculnya buah nanas dalam jumlah banyak (biasanya hanya 1 buah dalam 1 tumbuhan), tumbuhnya beberapa tandan pisang dalam satu batang tanaman pisang, dan pertumbuhan batang palem yang bercabang-cabang. Berdasarkan beberapa kelebihan yang diperoleh dari mutasi alami tersebut, para peneliti melakukan mutasi pada tumbuhan secara buatan.

Semangka tanpa biji merupakan salah satu hasil mutasi buatan. Secara alami, semangka tanpa biji sangat jarang kita dapat. Bagaimana cara membuatnya?

Mutagen yang paling sering digunakan dalam pembuatan semangka tanpa biji yaitu kolkisin. Kolkisin merupakan alkaloid yang dihasilkan oleh umbi *Colchicum autumnale*, sejenis tanaman hias berumbi yang hidup di daerah tropis.

Kolkisin bersifat menghambat pembentukan benang-benang spindel dari mikrotubulus pada tahap anafase pembelahan mitosis atau meiosis. Akibatnya, gerakan kromatid ke kutub-kutub sel terhambat sehingga terbentuklah poliploid.

Bibit semangka diploid yang diberi perlakuan menggunakan kolkisin akan menghasilkan semangka tetraploid ( $4n$ ) dengan 44 kromosom. Bagian-bagian tubuh tumbuhan  $4n$ , seperti batang, daun, dan bunga berukuran lebih besar dibandingkan bagian-bagian tumbuhan  $2n$ . Bibit semangka ini kemudian ditanam untuk dijadikan induk seleksi. Biji-biji yang dihasilkan oleh semangka tetraploid ini ditanam dan diserbukkan dengan semangka diploid. Persilangan ini akan menghasilkan biji-biji bersifat  $3n$  (triploid) yang merupakan bibit semangka tanpa biji. Perhatikan cara pembuatan semangka tanpa biji pada Gambar 6.16. Tumbuhan poliploidi berjumlah gasal dan umumnya mandul sehingga sering dimanfaatkan untuk memproduksi buah-buahan tanpa biji.



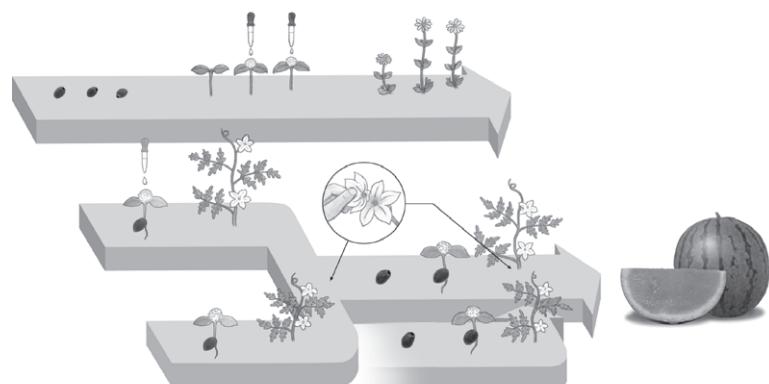
### Tahukah Anda

#### Membuat Bunga Raksasa

Pucuk bunga aster yang ditetes kolkisin dapat menunjukkan perubahan ukuran bunga yang dihasilkan. Ukuran bunga aster lebih besar daripada bunga normal. Kolkisin dijual bebas. Kita dapat memperolehnya di toko yang menyediakan alat dan bahan-bahan kimia.



Sumber: Dunia Tumbuhan, Tira Pustaka



Sumber: Dunia Tumbuhan, Tira Pustaka

Gambar 6.16

Cara membuat semangka tanpa biji

Termasuk perubahan set kromosom tipe apakah yang terjadi pada pembuatan semangka tanpa biji?

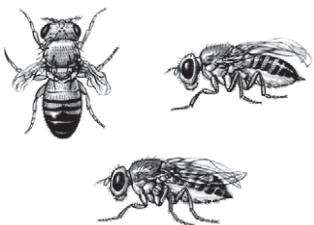




## Tahukah Anda

### *Drosophila*, Hewan Penelitian Akibat Mutasi

Umumnya, para ahli menggunakan *Drosophila melanogaster* untuk mengetahui dampak penggunaan sinar radioaktif pada hewan. Beberapa dampak tersebut, antara lain terjadinya perubahan warna mata, bentuk sayap (ada yang melengkung berbentuk kurva, bersudut, dan ada yang keriting), kaki yang tumbuh di kepala, serta terbentuknya dua abdomen sehingga terjadi penambahan jumlah kaki dan sayap.



Kelainan bentuk sayap pada *Drosophila* yang mengalami mutasi

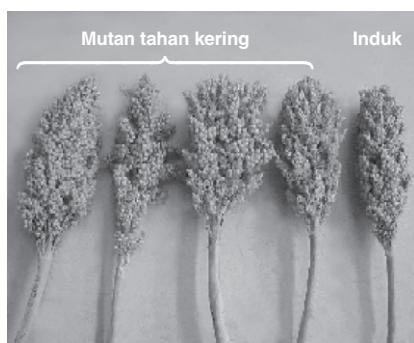
Selain kolkisin yang dapat menggandakan ploidi suatu tanaman, sinar radioaktif juga sering digunakan untuk memperoleh mutan. Mutan pada sel-sel generatif umumnya bersifat letal. Keturunannya akan mati sebelum atau beberapa waktu setelah lahir. Hanya sebagian kecil saja yang mampu bertahan hidup sehingga dibutuhkan biji dalam jumlah banyak ketika diradiasi. Perlu dilakukan penelitian berkali-kali untuk menentukan tingkat radiasi yang optimal agar diperoleh mutan dengan sifat-sifat tertentu yang diinginkan.

Negara kita mempunyai badan khusus di bidang penelitian, pengembangan, dan pemanfaatan tenaga nuklir. Badan tersebut dinamakan BATAN atau Badan Tenaga Nuklir Nasional. Beberapa jenis bibit unggul hasil mutasi ditemukan oleh BATAN. Bibit-bibit berkualitas unggul tersebut telah ditanam di berbagai daerah pertanian di Indonesia. Perhatikan tabel 6.2 berikut.

**Tabel Jenis-Jenis Bibit Unggul yang Ditemukan BATAN**

No.	Bibit Unggul	Kegunaan	Penerapan
1.	Padi: Atomita I–IV, Cilosari, Woyla, Merauke	Peningkatan produksi dan mendukung ketersediaan benih	Padi Cilosari, Atomita IV, tersebar dan ditanam petani antara lain Sulawesi Utara, Sulawesi Selatan, NTB, DIY, Wonosobo, Garut, Bengkulu, Deli Serdang, Asahan, dan Sumatra Utara.
2.	Padi gogo: Situginting		Padi Situginting telah ditanam di Sulawesi Utara, Sulawesi Selatan, NTB, Wonosobo, dan Bengkulu.
3.	Kedelai: Muria, Tengger, Meratus		Kedelai ditanam di NTB, Bengkulu, dan Wonosobo.

Sumber: [http://www.batan.go.id/organisasi/hasil\\_litbangyasa.php](http://www.batan.go.id/organisasi/hasil_litbangyasa.php)



Sumber: <http://www.batan.go.id/p3tir/sorghum-Indonesia.html>

**Gambar 6.17**

Beberapa varietas sorghum hasil mutasi

Sorghum merupakan salah satu tanaman pangan di Indonesia selain padi. Tanaman tersebut mempunyai kelebihan dibanding tanaman pangan lain, misalnya tahan kekeringan (biasanya petani menanamnya secara tumpang sari dengan tanaman pangan lainnya), produksi dan kandungan nutrisinya tinggi. Kandungan protein, lemak, dan mineralnya lebih tinggi dibandingkan padi.

Berdasarkan kelebihan tersebut, BATAN mengembangkan sorghum unggul dengan cara radiasi sinar gamma. Seleksi tanaman dilakukan mulai generasi kedua setelah perlakuan radiasi. Seleksi tersebut dilanjutkan pada generasi-generasi berikutnya yang bersifat unggul sampai diperoleh tanaman homozigot. Sejumlah mutan tanaman sorghum mempunyai sifat-sifat unggul, seperti tahan rebah, genjah, produksi tinggi, kualitas biji baik, dan lebih tahan terhadap kekeringan. Perhatikan beberapa varietas sorgum hasil mutasi pada Gambar 6.17.

Beberapa jenis tanaman hias yang diperlakukan dengan radiasi bertujuan untuk memperoleh variasi-variasi baru. Mutasi oleh radiasi dapat mengakibatkan terjadinya bentuk morfologi tanaman atau warna yang unik dan langka. Misalnya bentuk daun keriting (normal : rata) dan warna daun putih (normal : hijau). Mutan-mutan yang berpenampilan unik dapat meningkatkan nilai ekonomisnya. Para hobiis bersedia membayar mahal tanaman atau hewan unik yang digemarinya. Lakukan kegiatan berikut untuk mengetahui berbagai keunggulan jenis-jenis tumbuhan budi daya yang sudah mengalami mutasi.



## Tugas Kelompok

Kunjungilah dinas pertanian atau perkebunan di daerah Anda. Carilah informasi mengenai kelebihan-kelebihan tumbuh-tumbuhan mutan yang sudah dibudidayakan. Buatlah laporan tertulis dan kumpulkan kepada guru Anda.

Setelah penelitian-penelitian tentang gen semakin berkembang, para peneliti mulai mengembangkan teknik rekombinan untuk memperoleh bahan unggul. Gen-gen yang bersifat unggul pada suatu organisme dipotong kemudian disisipkan ke dalam susunan gen organisme lain. Gen-gen yang bersifat tidak unggul dapat dipotong dan dibuang. Perlakuan-perlakuan tersebut dapat menyebabkan adanya mutasi gen. Mutasi dengan cara-cara tersebut dinamakan *site directed mutagenesis*. Jadi, mutasi tersebut dapat secara langsung diarahkan pada tujuan-tujuan tertentu sesuai dengan keinginan pembuat mutan. Contoh-contoh organisme hasil mutasi ini antara lain tanaman bebas virus (dengan cara menyisipkan gen virus ke dalam susunan gen tanaman) dan tanaman tembakau yang dapat mengeluarkan cahaya fosfor dengan cara penyisipan gen kunang-kunang ke dalam susunan gen tembakau.

Anda telah mengetahui beberapa hal yang menyebabkan terjadinya mutasi pada makhluk hidup. Bagaimana pengaruh mutasi terhadap sumber plasma nutfah? Lakukan kegiatan berikut untuk mengetahuinya.



## Forum Diskusi

Semua makhluk hidup merupakan sumber plasma nutfah. Bila suatu makhluk hidup mengalami mutasi maka akan terjadi perubahan pada plasma nutfah. Diskusikan bersama teman sekelompok Anda mengenai hal-hal berikut.

1. Tunjukkan jenis mutasi yang menyebabkan penambahan sumber plasma nutfah.
2. Tunjukkan jenis mutasi yang menyebabkan pengurangan sumber plasma nutfah.

Buatlah laporan kelompok secara tertulis dan presentasikan di depan kelas.

Telah diuraikan di atas bahwa sinar radioaktif merupakan salah satu mutagen. Sinar radioaktif dapat menyebabkan mutasi maju dan mutasi balik. Mutasi maju terjadi jika ada perubahan fenotip normal menjadi abnormal. Akibatnya, terjadi kelainan-kelainan pada tubuh suatu organisme. Sedangkan mutasi balik terjadi karena adanya perubahan fenotip abnormal menjadi normal. Contoh mutasi balik di antaranya pada penggunaan radioterapi. Radioterapi dikenal juga dengan pengobatan menggunakan sinar radioaktif. Radioterapi merupakan salah satu metode pengobatan menggunakan sinar radioaktif. Radioterapi merupakan salah satu metode pengobatan penyakit kanker selain pembedahan dan kemoterapi. Kombinasi antara ketiga metode tersebut dapat memberikan hasil pengobatan yang optimal.

Mana yang lebih menguntungkan, mutasi alam atau buatan?



## Tahukah Anda

### Manfaat Lain Sinar Radioaktif

Beberapa sinar radioaktif dimanfaatkan untuk membunuh mikroba pembusuk dalam makanan kaleng. Bahan makanan tersebut dapat bertahan sampai beberapa tahun.

Radioterapi telah dilakukan sejak kurang lebih seratus tahun lalu, tidak lama setelah Prof. Willem Conrad Roentgen menemukan sinar-X. Seiring berkembangnya ilmu kedokteran dan teknologi, metode ini semakin banyak digunakan dalam pengobatan penyakit kanker.

Sinar-X dan sinar gamma paling banyak digunakan dalam pengobatan kanker di samping partikel radioaktif lain. Pada prinsipnya apabila berkas sinar radioaktif dipaparkan ke jaringan maka akan terjadi beberapa peristiwa, antara lain ionisasi molekul air. Ionisasi molekul air ini mengakibatkan terbentuknya radikal bebas di dalam sel yang kemudian menyebabkan kematian sel. Lintasan sinar juga menimbulkan kerusakan akibat tertumbuknya DNA yang dapat diikuti dengan kematian sel.

Berdasarkan waktu pemberian sinar, radioterapi dibedakan menjadi radiasi prabeda dan pascabeda. Radiasi yang dilakukan sebelum operasi dinamakan radiasi prabeda. Radiasi tersebut sering dilakukan untuk kanker kolon (usus besar). Penyinaran ini bertujuan memperkecil jaringan kanker sehingga mempermudah pengangkatan semua jaringan kanker pada saat pembedahan. Perhatikan alat pengobatan kanker dengan cara radiasi pada Gambar 6.18 berikut.



Sumber: [www.pontianakpost.com](http://www.pontianakpost.com)

Gambar 6.18

Alat pengobatan kanker dengan cara radiasi

Radiasi pascabeda dilakukan setelah operasi. Setelah jaringan kanker dan jaringan normal sekitarnya dioperasi maka dilakukan radiasi untuk membersihkan sel-sel kanker yang tertinggal. Tentunya akan timbul pertanyaan, apakah kematian hanya terjadi pada sel-sel kanker? Bagaimana dengan jaringan normal lainnya? Lakukan kegiatan berikut untuk menambah wawasan Anda mengenai pengobatan melalui radioterapi.



### Tugas Kelompok

Pergilah ke rumah sakit terdekat yang mempunyai peralatan radioterapi. Tanyakan pada petugas radioterapi mengenai dampak negatif penggunaan sinar radioaktif dan cara-cara meminimalisasi dampak tersebut. Buatlah laporan tertulis dan kumpulkan kepada guru Anda.

Ternyata, mutasi tak selamanya menimbulkan kerugian, terutama mutasi buatan. Jika pengetahuan tentang mutasi ini diimbangi dengan kesadaran moral manusia, maka akan menghasilkan produk yang bermanfaat bagi kehidupan. Harapannya, pengetahuan tentang mutasi dapat dimanfaatkan secara bijaksana sehingga tragedi kemanusiaan seperti di Hiroshima dan Nagasaki tidak terulang kembali.



## Uji Kompetensi B

Jawablah soal-soal berikut.

1. Salah satu bahan kimia yang menyebabkan mutasi yaitu kolkisin. Apakah kolkisin itu? Bagaimana pengaruh kolkisin terhadap pembelahan sel?
2. Anda telah mengenal mutasi alami dan mutasi buatan. Mutasi apakah yang lebih menguntungkan? Mengapa demikian?
3. Jelaskan hubungan antara mutasi dengan proses evolusi.
4. Apa manfaat mutasi bagi pemuliaan tanaman? Sebutkan 2 contoh hasil mutasi dan sifatnya.
5. Sinar-X adalah salah satu mutagen fisik yang sering juga digunakan untuk terapi kanker. Langkah-langkah apa yang dilakukan untuk menghindari terjadinya mutasi pada sel-sel normal?



## Rangkuman

1. Mutasi yaitu perubahan informasi genetik yang terjadi dalam organisme. Macam-macam mutasi sebagai berikut.
  - a. Mutasi gen  
Perubahan struktur DNA(gen) yang terjadi pada lokus tunggal
    - 1) Macam-macam mutasi gen:
      - a) duplikasi
      - b) adesi
      - c) delesi
      - d) invasi
      - e) substitusi
    - 2) Pengaruh mutasi terhadap pembacaan gen:
      - a) *silent mutation*
      - b) *missense mutation*
      - c) *nonsense mutation*
    - 3) Contoh kelainan akibat mutasi gen:
      - a) *sickle cell anemia*
      - b) kanker
  - b. Mutasi kromosom  
Perubahan kromosom sehingga menimbulkan perubahan sifat.

- 1) Perubahan set kromosom
  - a) autopoliploidi
  - b) alloploid
- 2) Perubahan jumlah kromosom  
Contoh:  
monosomi :  $2n - 1$   
nulisomi :  $2n - 2$   
trisomi :  $2n + 1$   
tetrasomi :  $2n + 2$
- 3) Perubahan struktur kromosom
  - a) translokasi
  - b) inversi
  - c) delesi
  - d) duplikasi
  - e) katenasi
2. Penyebab mutasi:
  - a) Bahan fisik  
sinar alfa, sinar beta, sinar gamma, dan sinar-X
  - b) Sinar ultraviolet  
sinar matahari
  - c) Bahan kimia  
dimetil sulfat, nitro metil sulfat,  $\text{HNO}_3$ , dan  $\text{NH}_2\text{OH}$



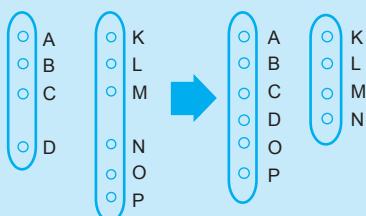
## Evaluasi

A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.

1. Pernyataan berikut benar mengenai mutasi, **kecuali** ....
  - a. dapat terjadi pada semua sel makhluk hidup
  - b. sebagian besar mutasi yang terjadi secara alami bersifat menguntungkan
  - c. mutasi dapat terjadi setiap saat dan di mana saja
  - d. mutasi buatan dapat terjadi menggunakan sinar radioaktif
  - e. perubahan struktur gen atau kromosom dalam inti sel
2. Contoh peristiwa mutasi di antaranya ....
  - a. perubahan warna kulit karena sengatan matahari
  - b. terbentuknya bibit unggul dengan penggunaan urea
  - c. pembentukan vitamin D di bawah permukaan kulit
  - d. terbentuknya bibit unggul karena penggunaan mutagen
  - e. adanya aroma pedas pada cabai budi daya
3. Terdapat kelainan-kelainan pada tubuh manusia sebagai berikut.
  - 1) sindrom Down    4) kanker rahim
  - 2) kanker kulit    5) leukemia
  - 3) sindrom Turner    6) wanita super

Kelainan yang disebabkan oleh mutasi gen terdapat pada nomor ....

  - a. 1), 2), dan 3)    d. 2), 4), dan 5)
  - b. 1), 3), dan 5)    e. 2), 5), dan 6)
  - c. 2), 3), dan 4)
4. Penderita *sickle-cell anemia* merupakan akibat mutasi gen karena adanya ....
  - a. duplikasi    d. delesi
  - b. substitusi    e. inversi
  - c. adisi
- 5.



Pernyataan yang sesuai dengan gambar di atas yaitu pematahan kromosom bagian ....

- a. tengah dan patahan menyatu dengan bagian tengah kromosom lain
- b. ujung dan patahan menyatu dengan bagian tengah kromosom lain
- c. tengah dan patahan menyatu dengan bagian ujung kromosom lain
- d. ujung dan patahan menyatu dengan bagian ujung kromosom lain
- e. ujung dan patahan menyatu dengan ujung kromosom lain dalam posisi terbalik
6. Sindrom Down terjadi karena peristiwa ....
  - a. monosomi    d. aneuploidi
  - b. nulisomi    e. poliploidi
  - c. trisomi
7. Berikut ini ciri-ciri penderita aneusomik.
  - 1) Laki-laki tetapi memperlihatkan ciri-ciri sebagai wanita.
  - 2) Wanita tetapi memperlihatkan ciri-ciri sebagai lelaki.
  - 3) Mengalami cacat mental.
  - 4) Bersifat kasar dan agresif.
  - 5) Payudara membesar dan tubuh tinggi.
  - 6) Payudara tidak tumbuh.

Ciri-ciri penderita sindrom Klinefelter yaitu ....

  - a. 1), 3), dan 5)    d. 2), 4), dan 6)
  - b. 1), 4), dan 6)    e. 3), 4), dan 6)
  - c. 2), 3), dan 6)
8. Penderita sindrom Turner memiliki jumlah kromosom ... buah.
  - a. 44    d. 48
  - b. 45    e. 49
  - c. 46
9. Sindrom Turner terjadi karena *nondisjunction* pada kromosom ....
  - a. seks induk jantan
  - b. seks induk betina
  - c. seks induk jantan atau betina
  - d. somatik induk jantan
  - e. somatik induk betina
10. Terdapat 5 kodon dengan urutan: CGC AAC CAC CGG UUC. Urutan rantai mRNA yang mengalami substitusi adalah ....
  - a. CGC AAC CAC GGC UUC
  - b. CGC AAC CAG CGG UUC
  - c. CGC AAC CAC CGU UC
  - d. CGC AAC CAC CGG UUU C
  - e. CGC AAC CAC CGG CUU

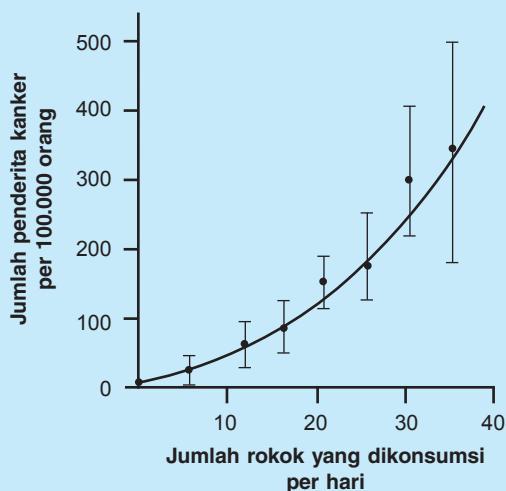
11. Delesi yang menyebabkan mutasi gen terjadi akibat . . . pada rantai mRNA.
- gen tersusun kembali dalam posisi terbalik
  - hilangnya salah satu gen
  - bertambahnya salah satu gen
  - hilangnya satu buah kromosom
  - bertambahnya lebih dari satu gen
12. Telah terjadi perubahan struktur kromosom sebagai berikut.
- 
- Mutasi semacam ini disebut . . .
- translokasi heterozigot
  - translokasi resiprok
  - inversi perisentrik
  - inversi parasentrik
  - duplikasi
13. Penggandaan kromosom 21 menyebabkan seseorang menderita kelainan . . .
- leukemia
  - sickle-cell anemia*
  - sindrom Down
  - sindrom Turner
  - sindrom Klinefelter
14. Suatu organisme kehilangan satu pasang kromosomnya. Organisme tersebut mengalami mutasi yang disebut . . .
- monosomi
  - trisomi
  - tetrasomi
  - aneusomi
  - nulisomi
15. Wanita mempunyai risiko besar terserang kanker apabila kondisinya . . .
- menstruasi pertama pada usia 12 tahun
  - mempunyai anak
  - menyusui anak sampai dua tahun
  - menopausenya terlambat
  - usianya masih muda
16. Orang yang mempunyai kelainan sindrom Down, terjadi akibat . . .
- gagal berpisah pada autosom
  - gagal berpisah pada kromosom seks
  - pindah silang gamet jantan dan gamet betina
  - putaran pada seks kromosom
  - pausan pada autosom
17. Jenis mikroba yang dapat menyebabkan mutasi yaitu . . .
- ganggang
  - bakteri
  - algae
  - fungi
  - plankton

18. Kerugian akibat penggunaan kolkisin pada tanaman di antaranya . . .
- menghasilkan tanaman steril
  - menghasilkan biji fertil
  - buah cepat masak
  - kandungan gizi turun
  - pertumbuhan lambat
19. Mutasi yang terjadi akibat tindakan manusia antara lain . . .
- kanker kulit karena sinar ultraviolet
  - penggunaan bahan kimia dalam ilmu pengetahuan
  - pengembangan bibit lokal untuk menghindari kepunahan
  - penemuan varietas baru sebagai bibit unggul
  - terjadinya mekanisme evolusi
20. Pada bibit unggul Atomita merupakan hasil mutasi buatan dari padi Pelita dengan cara . . .
- persilangan
  - seleksi
  - hibridisasi
  - domestikasi
  - radiasi
- B. Jawablah soal-soal berikut.
- Jelaskan pengaruh bahan asam nitrit terhadap terjadinya mutasi.
  - Mutagen dapat dibedakan menjadi tiga golongan. Sebutkan dan beri contohnya.
  - Apa perbedaan mutasi alami dengan mutasi buatan?
  - Mengapa penggunaan radioaktif secara terus-menerus dalam terapi membahayakan aktivitas gen?
  - Apabila seorang ibu terkena radiasi pada bagian kepala dan mengalami mutasi pada bagian tersebut apakah akan diwariskan kepada keturunannya? Jelaskan alasan Anda.

C. Berpikir kritis.

Merokok dapat mempengaruhi tingkat kesehatan seseorang. Berbagai bahan kimia yang terkandung dalam rokok akan terserap ke dalam tubuh melalui saluran pernapasan. Bahan-bahan tersebut umumnya bersifat karsinogenik.

Mungkin, tidak ada keluhan pada tahun pertama, tetapi akan menimbulkan gangguan setelah beberapa puluh tahun kemudian. Grafik berikut menunjukkan hubungan antara jumlah populasi yang merokok dengan jumlah penderita kanker.



### Pertanyaan:

1. Bagaimana pengaruh rokok terhadap kemungkinan serangan kanker?
2. Jenis mutasi apa yang terjadi pada penderita kanker?
3. Selain kanker paru-paru, kanker apa lagi yang sering menyerang perokok berat?



### Refleksi

#### Mutasi

Pelajari kembali

Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

1. Apakah yang dimaksud dengan mutasi?
2. Sebut dan jelaskan jenis-jenis mutasi.
3. Sebutkan zat-zat maupun organisme yang dapat mengakibatkan terjadinya mutasi.
4. Sebutkan akibat terjadinya mutasi pada makhluk hidup.
5. Sebutkan dampak mutasi bagi manusia dan lingkungan.

Jawaban betul < 60%

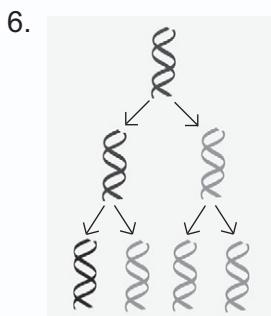
Jawaban betul  $\geq 60\%$



## Latihan Ulangan Blok 2

A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.

1. Perhatikan beberapa fungsi asam nukleat berikut.
  1. Menghasilkan energi
  2. Membawa informasi genetik
  3. Berperan dalam sintesis protein
  4. Membentuk RNA
 Fungsi DNA ditunjukkan pada ....
  - a. 1), 2), dan 3) d. 2), 3), dan 4)
  - b. 1), 3), dan 4) e. 2) dan 4)
  - c. 1), 2), dan 4)
2. Model *double helix* struktur DNA memiliki tangga utama berupa ....
  - a. deoksi ribosa dan basa nitrogen
  - b. gugus fosfat dan basa nitrogen
  - c. deoksiribosa dan fosfat
  - d. gula dan N-adenin
  - e. gula dan basa nitrogen
3. Ikatan hidrogen rangkap dua mengikat ....
  - a. sitosin dan timin
  - b. adenin dan guanin
  - c. sitosin dan guanin
  - d. timin dan guanin
  - e. adenin dan timin
4. Rangkaian kimia antara deoksiribosa dengan purin dan pirimidin disebut ....
  - a. nukleosida d. polinukleotida
  - b. nukleotida e. DNA
  - c. polinukleotida
5. DNA dapat berfungsi untuk mensitesis molekul lain seperti RNA. Fungsi ini menjadikan DNA memiliki sifat ....
  - a. otokatalitik d. homokatalitik
  - b. heterokatalitik e. sintesis protein
  - c. monokatalitik



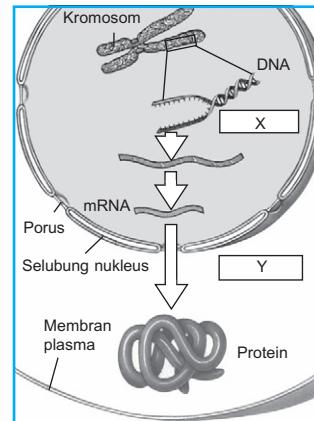
Skema replikasi seperti gambar di samping, sesuai dengan hipotesis ....

- a. konservatif
- b. dispersif
- c. semikonservatif
- d. semidispersif
- e. dispersif konservatif

7. Rantai DNA yang tidak mencetak mRNA disebut rantai ....

- a. sense
- b. antisense
- c. kodon
- d. antikodon
- e. kodon triplet

8. Perhatikan gambar skema sintesis protein berikut ....



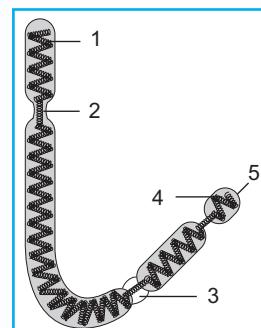
Sumber: Biology, Raven

Berdasarkan skema di atas, proses yang terjadi pada X dan Y yaitu ....

- a. transkripsi dan sintesis protein
- b. translasi dan menerjemahkan kodon
- c. pembentukan kodon dan penerjemahan asam amino
- d. penyusunan asam amino dan translasi
- e. transkripsi dan penerjemahan kodon

9. Perhatikan kromosom di samping.

Bagian-bagian yang ditunjukkan nomor-nomor tersebut yaitu ....



	1	2	3
a.	kromonema	satelit	telomer
b.	kromenama	lekukan kedua	satelit
c.	kromenama	sentromer	satelit
d.	kromenama	lekukan kedua	sentromer
e.	kromenama	lekukan kedua	sentromer

4	5
Sentromer	Lekukan kedua
Telomer	Sentromer
Lekukan kedua	Telomer
Sentromer	Telomer
Satelit	Telomer

10. Bagian kromosom yang menyempit dan tidak mengandung gen serta merupakan tempat melekatnya benang spindel disebut ....
- kromonema
  - kromomer
  - sentromer
  - leukuan kedua
  - telomer

11. Benang-benang pembelahan yang nampak menyerupai bintang disebut ....
- sentriol
  - aster
  - spindel
  - kromatid
  - kromatin

- 12.
- 
- Perhatikan gambar berikut. Berdasarkan tahap-tahap pembelahan sel, gambar di samping terjadi pada tahap ....
- anafase
  - metafase
  - telofase
  - profase
  - interfase

13. Pada pembelahan meisis tahap kedua terjadi peristiwa berikut.
- Benang-benang kromatid sampai di kutub.
  - Kromatid tertarik ke bidang ekuator.
  - Nukleus terbentuk kembali.
  - Terbentuk sekat pada bidang pembelahan
  - Terbentuk 4 sel anak

Tahap-tahap yang terjadi pada telofase II yaitu ....

- 1), 2), 3), dan 4)
- 2), 3), 4), dan 5)
- 1), 3), 4), dan 5)
- 1), 2), 4), dan 5)
- 2), 3), 4), dan 5)

14. Perbandingan antara proses mitosis dan meiosis yang benar terdapat pada ....

	Mitosis	Meiosis
a.	Jumlah kromosom anak $\frac{1}{2}$ dari jumlah kromosom induk	Jumlah kromosom anak sama dengan induk
b.	Terjadi pindah silang	Tidak terjadi pindah silang
c.	Menghasilkan 2 sel anak	Menghasilkan 2 sel anak
d.	Kromosom memendek dan menebal	Kumparan kromosom lebih panjang
e.	Pembelahan tunggal kromosom dan nukleus	Pembelahan hanya terjadi pada jumlah kromosom

15. Proses pembentukan akrosom yang berperan untuk menembus lapisan pelindung sel telur disebut ....

- spermiogenesis
- spermatogenesis
- pembentukan spermatid
- spermatozoa
- spermatogonium

16. Ootid yang akan berkembang menjadi ovum merupakan hasil pembelahan meiosis II dari ....

- Polosit
- Oosit primer
- Oosit sekunder
- Badan kutub primer
- Oogonium

17. Setelah sebuah sel induk megaspora haploid mengalami meiosis I, terbentuk dua sel haploid. Kedua sel haploid tersebut mengalami meiosis II dan dihasilkan 4 megaspora haploid. Tiga di antaranya akan ....

- mengalami degenerasi
- membentuk ovum
- mengalami tiga kali kariokinesis
- membentuk endosperm
- mengalami sitokinesis

18. Jika individu Aa Bb Cc membentuk gamet, gamet yang terbentuk sebanyak ... macam

- $n^2$
- $2n$
- $2^n$
- $2n^2$
- $(2^n)^2$

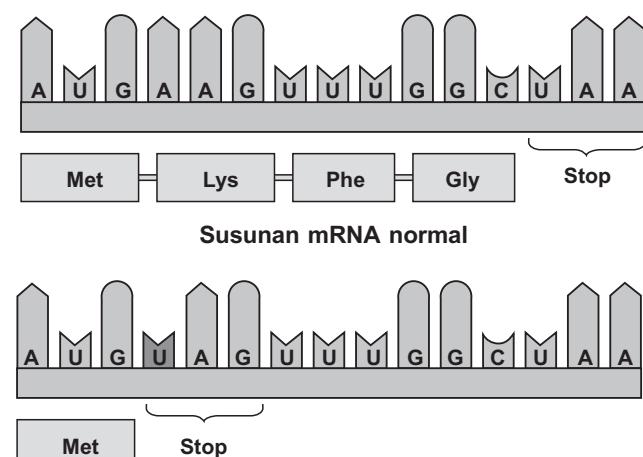
19. Perkawinan resiprokal merupakan . . .
   
a. perkawinan antarvarietas  
 b. persilangan dengan genotip resesif  
 c. perkawinan kebalikan dari semula  
 d. persilangan f, dengan salah satu induknya (pada tumbuhan)  
 e. persilangan 2 individu yang merupakan sifat beda
20. Persilangan yang dapat digunakan untuk mengetahui genotip induk yaitu . . .
   
a. perkawinan resiprokal  
 b. *back cross*  
 c. *test cross*  
 d. uji silang  
 e. perkawinan kebalikan
21. Jika suatu individu bergenotip heterozigot, akan memiliki perbandingan genotip pada *test cross* yaitu . . .
   
a. 100%  
 b. 1 : 1  
 c. 3 : 1  
 d. 9 : 3 : 3 : 1  
 e. 12 : 3 : 1
22. Salah satu contoh pengaruh akibat adanya alel ganda yaitu . . .
   
a. warna rambut mencit  
 b. pembentukan melanin kulit  
 c. golongan darah manusia  
 d. warna umbi lapis bawang  
 e. warna kornea mata manusia
23. Pada peristiwa epistasis dominan, menghasilkan perbandingan  $F_2$  seperti . . .
   
a. 9 : 3 : 31  
 b. 12 : 3 : 1  
 c. 9 : 3 : 3 : 4  
 d. 9 : 3 : 3  
 e. 9 : 6 : 1
24. Jika wanita normal karier hemofilia menikah dengan pria hemofilia, wanita normal karier hasil pernikahan tersebut berjumlah . . .
   
a. 100%  
 b. 50%  
 c. 75%  
 d. 25%  
 e. 0%
25. Perhatikan tabel genotip pewarisan sifat hemofilia berikut.

Jenis Kelamin	Normal	Hemofilia
Wanita	$X^H X^H$ $X^H X^h$	P
Pria	$X^H Y$	$X^h Y$

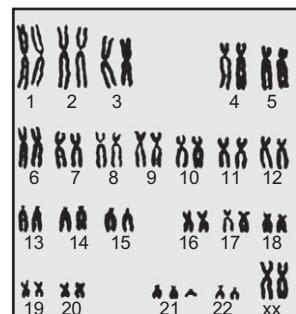
Berdasarkan tabel tersebut wanita P memiliki sifat . . .

- a. normal  
 b. karier  
 c. hemofilia  
 d. letal  
 e. intermediat
26. Peristiwa muatsi gen akibat adanya penyisipan nukleotida disebut . . .
   
a. duplikasi  
 b. delesi  
 c. adisi  
 d. inversi  
 e. substitusi

27. Perhatikan gambar berikut.



- Peristiwa mutasi gen pada gambar di atas disebut . . .
   
a. *silent mutation*  
 b. aneuploidi  
 c. polipliodi  
 d. *missense mutation*  
 e. *nonsense mutation*
28. Pada peristiwa nulisomik, kromosom memiliki jumlah . . .
   
a.  $2n - 1$   
 b.  $2n - 2$   
 c.  $2n + 1$   
 d.  $2n + 2$   
 e.  $-2n$
29. Perhatikan kariotipe di samping.  
 Peristiwa nondisjunction yang menyebabkan kariotipe pada gambar di samping mengakibatkan . . .
   
a. sindrom down  
 b. sickle-cell anemia  
 c. kanker kulit  
 d. sindrom turner  
 e. wanita super

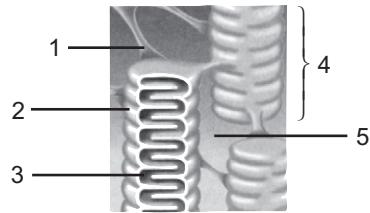


- 30.
- 
- Peristiwa pada gambar merupakan aberasi yang terjadi karena adanya . . . .
- inversi
  - translokasi
  - catenasi
  - duplikasi
  - delesi
- B. Jawablah soal-soal berikut.
- Sebutkan beberapa alasan Mendel menggunakan ercis dalam penelitiannya.
  - Sebutkan dan jelaskan teori-teori yang mengukakan terjadinya replikasi DNA.
  - Apakah yang dimaksud dengan fungsi DNA sebagai autokatalitik dan heterokatalitik?
  - Gambar dan sebutkan bagian-bagian kromosom secara lengkap.
  - Jelaskan perbedaan dan persamaan antara DNA dan RNA.
  - Mengapa peristiwa meiosis dapat menimbulkan variasi organisme?
  - Sebutkan perbedaan yang terjadi pada peristiwa meiosis I dan meiosis II.
  - Sebutkan proses-proses yang terjadi pada spermatogenesis.
  - Jelaskan proses pembentukan sel telur.
  - Jelaskan proses megasporogenesis pada angiospermae.
  - Apa yang dimaksud dengan peristiwa epistasis dan hipostasis?
  - Sebutkan tipe jenis kelamin pada lalat buah, belalang, dan lebah.
  - Sebutkan kendala yang dijumpai peneliti dalam mempelajari genetika pada manusia dan cara mengatasinya.
  - Apa yang dimaksud dengan rangka kelamin?
  - Apa yang dimaksud dengan *criss-cross inheritance* serta sebut dan jelaskan contohnya.
  - Peristiwa mutasi tidak selalu diwariskan kepada keturunannya. Pada peristiwa mutasi apakah, mutasi dapat diturunkan?
  - Sebut dan jelaskan berbagai macam peristiwa mutasi gen.
  - Apa yang dimaksud dengan *silent mutation*, *missense mutation*, dan *nonsense mutation*?
  - Uraikan terjadinya *sickle-cell anemia*.
  - Sebutkan macam mutasi kromosom dan jelaskan proses terjadinya.

# Latihan Ulangan Semester

- A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.
1. Berdasarkan grafik sigmoid, pertumbuhan mencapai maksimum terjadi pada fase . . .
    - a. awal
    - b. log
    - c. perlambatan
    - d. stasioner
    - e. statis
  2. Batang dapat tumbuh ke arah cahaya matahari karena . . .
    - a. auksin menyebar ke seluruh bagian batang
    - b. konsentrasi auksin yang tinggi pada sisi yang terkena matahari
    - c. sel-sel batang tumbuh lebih cepat pada sisi yang terkena matahari
    - d. auksin terakumulasi pada batang yang tidak terkena sinar matahari
    - e. auksin terhambat jika tidak terkena sinar matahari
  3. Perhatikan tabel berikut.
- | Hormon | Fungsi   |
|--------|--|
| X      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mempercepat pemasakan buah.</li> <li>• Pengguguran bunga</li> </ul> |
- Berdasarkan fungsinya, hormon X merupakan hormon . . .
- a. auksin
  - b. giberelin
  - c. gas etilen
  - d. sitokinin
  - e. asam absisat
4. Komponen protein yang menyusun enzim disebut . . .
    - a. holoenzim
    - b. apoenzim
    - c. gugus prostetik
    - d. koenzim
    - e. kofaktor
  5. Pada percobaan menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim, gelembung udara terbanyak terdapat pada tabung yang berisi . . .
    - a. hati yang direbus
    - b. hati segar
    - c. hati yang dipotong kecil-kecil
    - d. potongan kentang
    - e. kentang dan daging kambing

6. Perhatikan gambar berikut.

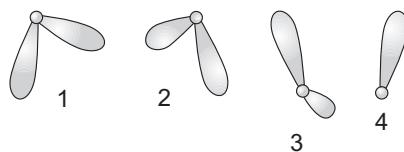


Berdasarkan gambar di atas, klorofil dan pigmen lain yang berperan pada proses fotosintesis yaitu . . .

- a. 1
  - b. 2
  - c. 3
  - d. 4
  - e. 5
7. Fermentasi asam laktat dari jamur dan bakteri tertentu dapat dimanfaatkan dalam pembuatan . . .
    - a. keju
    - b. tempe
    - c. tape
    - d. kecap
    - e. oncom

8. Berdasarkan tipe pengikatan  $\text{CO}_2$  selama proses fotosintesis, tanaman yang termasuk CAM yaitu . . .
  - a. kedelai
  - b. tebu
  - c. kacang tanah
  - d. jagung
  - e. kaktus

9. Perhatikan gambar berikut.



Berdasarkan letak sentromernya, kromosom pada gambar di atas disebut . . .

Kromosom	1	2	3	4
A	Akrosentris	Telosentris	Submeta-sentris	Metasentris
B	Telosentris	Akrosentris	Metasentris	Submeta-sentris
C	Metasentris	Submeta-sentris	Akrosentris	Telosentris
D	Telosentris	Submeta-sentris	Akrosentris	Metasentris
E	Submeta-sentris	Metasentris	Telosentris	Akrosentris

10. Rantai antisense yaitu . . .
- rantai DNA yang tidak mencetak mRNA
  - rantai RNA yang membawa kodon
  - rantai DNA yang mencetak mRNA
  - ikatan asam amino yang dibentuk tRNA
  - ikatan polipeptida
11. Beberapa bagian DNA bergabung membentuk gen yang berfungsi sebagai pembawa sifat keturunan menempati bagian yang disebut . . .
- sentromer d. kromonema
  - satelit e. telomer
  - lokus
12. Perhatikan gambar berikut.
- 
- Bagian kromosom yang ditunjuk memiliki fungsi . . .
- menghalangi pelekatan dengan kromosom lain
  - pusat aktivitas kromosom
  - tempat melekatnya spindel
  - bagian kromosom yang tidak mengandung DNA
  - penebalan pada kromonema
13. Perhatikan ciri-ciri pembelahan berikut.
- Benang-benang spindel terlihat makin jelas. Benang-benang tersebut mengikat sentromer setiap kromosom.
  - Kromosom mengatur diri pada bidang ekuatorial.
- Berdasarkan ciri-ciri pembelahan di atas, peristiwa tersebut terjadi pada fase . . .
- interfase d. profase
  - metafase e. telofase
  - anafase
14. Pada saat profase I terjadi kiasma. Kiasma terjadi pada tahap . . .
- leptonema d. diplonema
  - zigonema e. diakinesis
  - pakinema
15. Perhatikan gambar pembelahan berikut.
- 
- Peristiwa pembelahan tersebut terjadi pada . . .
- sel kelamin d. manusia
  - hewan e. bakteri
  - tumbuhan
16. Inti diploid hasil persatuan dua sel kutub yang dibuahi inti generatif menghasilkan endosperm yang bersifat . . .
- haploid d. tetraploid
  - diploid e. poliploid
  - triploid
17. Sifat suatu individu yang genotipnya terdiri atas gen-gen yang sama dari tiap jenis gen disebut . . .
- homozigot d. dihibrid
  - heterozigot e. trihibrid
  - monohibrid
18. Pada persilangan tanaman bunga pukul empat (*Mirabilis jalapa*) berbunga merah (MM) dengan berbunga putih (mm) menghasilkan tanaman berbunga merah muda (Mm). Peristiwa ini menunjukkan adanya sifat . . .
- homozigot dominan
  - intermediat
  - homozigot resesif
  - criptomeri
  - polimeri
19. Perhatikan bagan persilangan peristiwa penyimpangan hukum Mendel berikut.
- P : AAbb >< aaBB  
(merah) (putih)
- Gimet : Ab aB
- F<sub>1</sub> : AABb  
(ungu)
- F<sub>2</sub> :
- |    | ♀ ♂                | AB                 | Ab                 | aB                 | ab |
|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----|
| AB | AABB <sup>1</sup>  | AABb <sup>2</sup>  | AaBB <sup>3</sup>  | AaBb <sup>4</sup>  |    |
| Ab | AABb <sup>5</sup>  | AAbb <sup>6</sup>  | AaBb <sup>7</sup>  | Aabb <sup>8</sup>  |    |
| aB | AaBB <sup>9</sup>  | AaBb <sup>10</sup> | aaBB <sup>11</sup> | aaBb <sup>12</sup> |    |
| ab | AaBb <sup>13</sup> | Aabb <sup>14</sup> | aaBb <sup>15</sup> | aabb <sup>16</sup> |    |

- Berdasarkan bagan tersebut, fenotip yang berwarna merah terdapat pada nomor . . . .
- 5, 7, dan 8
  - 6, 7, dan 8
  - 5, 8, dan 13
  - 6, 7, dan 13
  - 5, 8, dan 14
20. Pada persilangan antara ayam berpial mawar dengan ayam berpial ercis menghasilkan bentuk pial  $F_1$  yang sebelumnya belum dikenal yaitu sumpel. Hal ini menunjukkan terjadi peristiwa . . . .
- kriptomeri
  - atavisme
  - polimeri
  - epistasis
  - epistasis resesif
21. Kucing berambut belang tiga (hitam - kuning - putih) selalu betina. Peristiwa ini menunjukkan adanya . . . .
- pautan seks
  - atavisme
  - gen komplementer
  - kriptomeri
  - polimeri
22. Apabila sebagian nukleotida dalam rantai DNA hilang, peristiwa mutasi gen tersebut disebut . . . .
- duplicasi
  - adisi
  - delesi
  - inversi
  - substitusi
23. Perhatikan potongan rantai DNA berikut.
- DNA hemoglobin normal**

mRNA: G A A

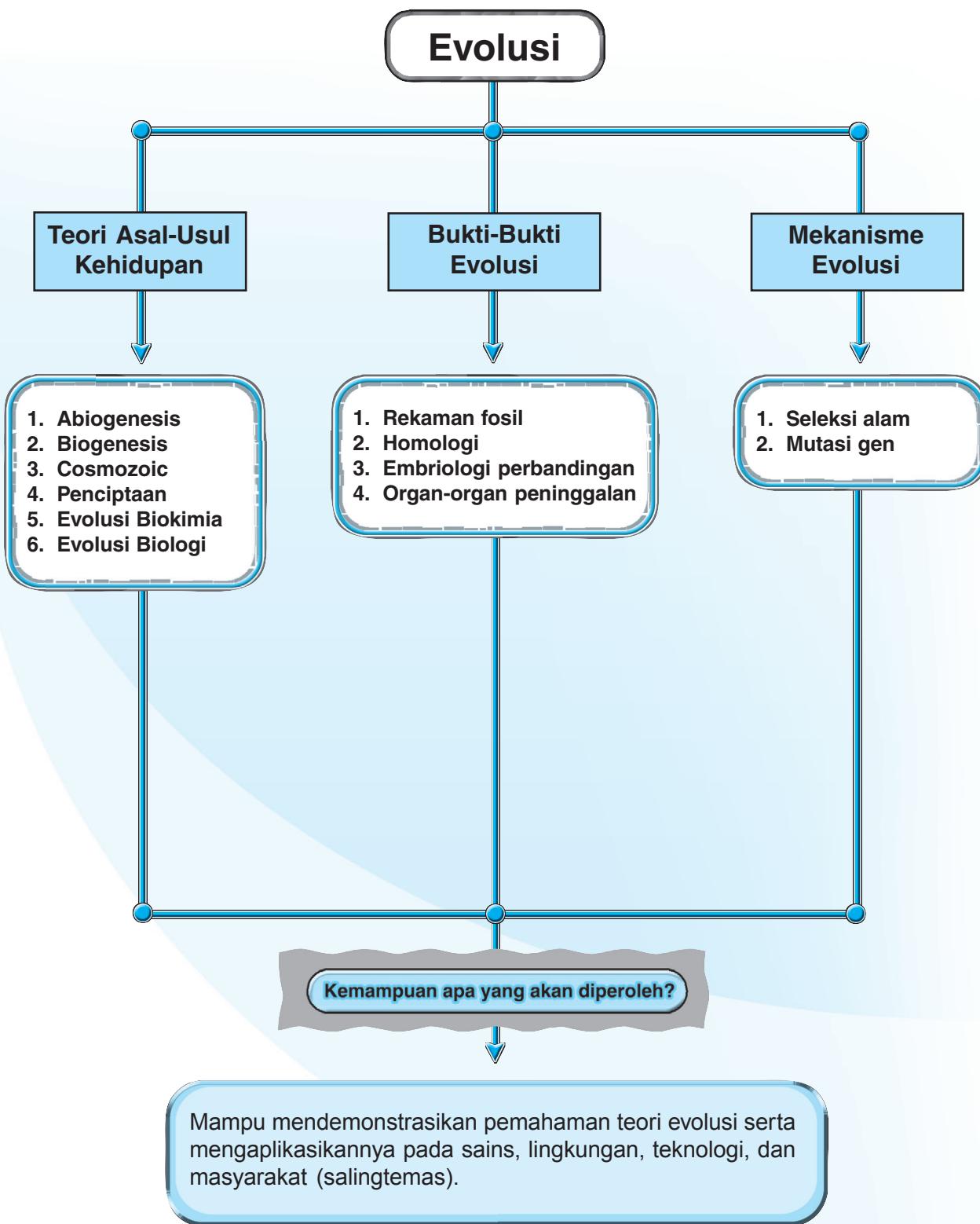
Protein: Glu

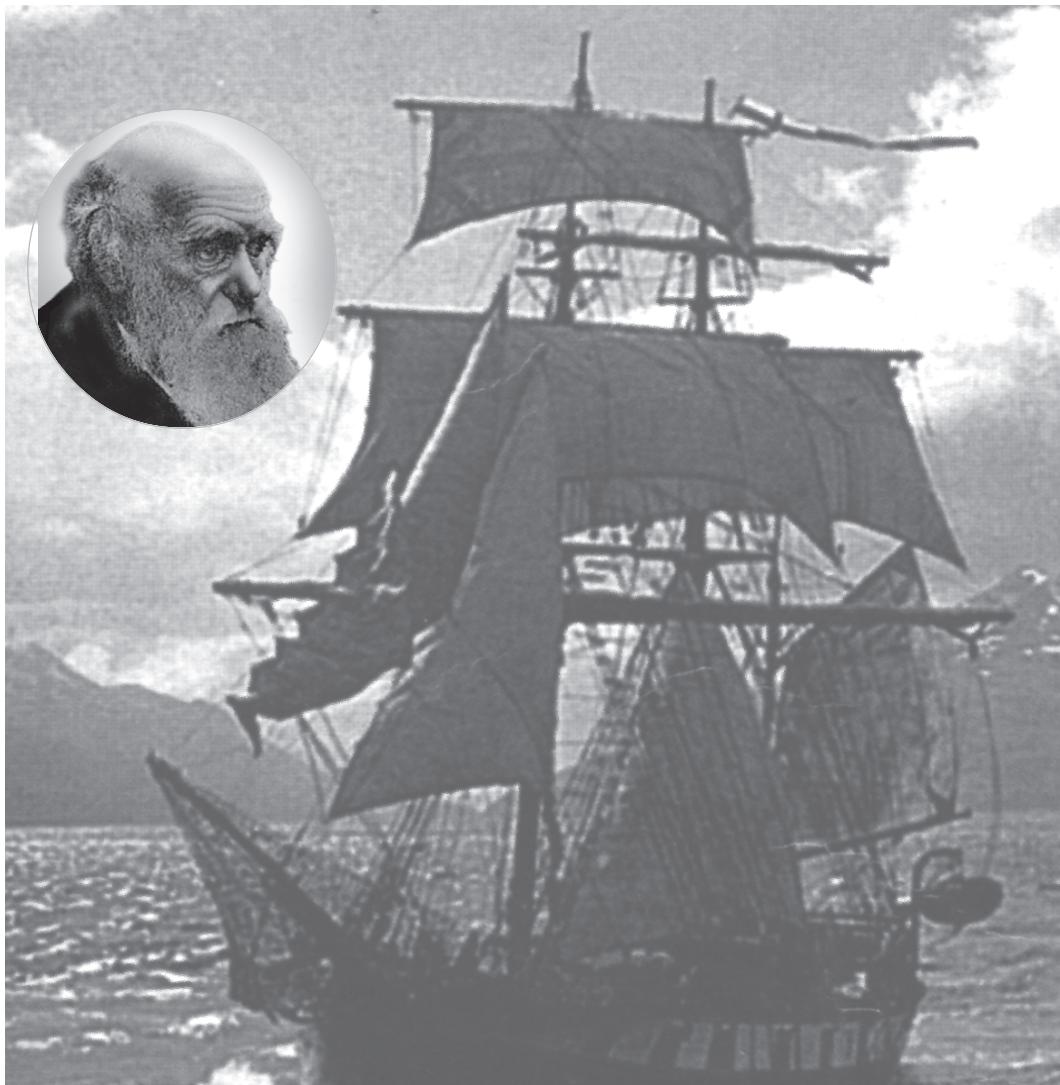
**DNA hemoglobin mutan**

mRNA: G U A

Protein: Val
- Peristiwa di atas mengakibatkan terjadinya . . . .
- sickle-cell anemia
  - kanker
  - sindrom Edward
  - sindrom Down
  - poliploid
24. Perhatikan bagan berikut.
- $$P = \begin{array}{c} \text{♂ } 2n \\ \text{♀ } 4n \end{array} \quad \begin{array}{c} \downarrow \\ \text{ovum} \end{array} \quad \begin{array}{c} \downarrow \\ \text{sperma } 2n \end{array} \quad \begin{array}{c} \searrow \\ F \end{array}$$
- Organisme yang dihasilkan pada persilangan di atas bersifat . . . .
- a. haploid      d. tetraploid  
b. diploid      e. poliploid  
c. triploid
25. Perhatikan gambar perubahan susunan kromosom berikut.
- Semula      Proses      Hasil
- Aberasi kromosom yang disebabkan karena proses seperti gambar di atas disebut . . . .
- translokasi
  - inversi
  - delesi
  - duplicasi
  - katenasi
- B. Jawablah soal-soal berikut.
- Sebutkan hormon-hormon yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan beserta fungsinya.
  - Gambarkan dan beri keterangan suatu grafik pertumbuhan (grafik sigmoid).
  - Sebutkan dan jelaskan langkah-langkah yang harus dilalui dalam metode ilmiah.
  - Sebutkan ion-ion logam yang berfungsi sebagai kofaktor atau aktivator dalam suatu reaksi metabolisme.
  - Sebut dan jelaskan teori-teori yang menjelaskan cara kerja enzim.
  - Sebutkan dan jelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim.
  - Jelaskan keterkaitan metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein.
  - Jelaskan model struktur DNA yang dikemukakan oleh James Watson dan Francis Crick.
  - Sebutkan tiga macam RNA yang telibat dalam sintesis protein.
  - Sebutkan berbagai kromosom berdasarkan letak sentromernya.

11. Sebutkan arti penting meiosis bagi makhluk hidup.
  12. Sebutkan tahap-tahap yang terjadi pada profase I.
  13. Apakah yang dimaksud dengan peristiwa spermiogenesis?
  14. Sebutkan peristiwa-peristiwa yang menunjukkan penyimpangan semu hukum Mendel.
  15. Jika gen dominan A dan B terdapat bersama-sama dalam genotip kulit buah gandum akan berwarna ungu tua. Bila terdapat salah satu gen dominan saja (A atau B) kulit buah berwarna ungu. Absennya gen dominan menyebabkan kulit buah berwarna putih.
- Suatu gandum memiliki biji berkulit ungu tua (AABB) disilangkan dengan biji berkulit putih (aabb). Jelaskan persilangan yang terjadi dan sebutkan rasio fenotip  $F_2$ -nya.
16. Apakah gen letal itu? Sebutkan contoh-contoh gen letal dominan maupun resesif.
  17. Jelaskan apa yang dimaksud dengan aplikasi eugenetika dan aplikasi eutenia?
  18. Sebutkan beberapa peristiwa yang dapat mengakibatkan aneuploidi (perubahan jumlah kromosom).
  19. Sebutkan hal-hal yang dapat menyebabkan terjadinya aberasi kromosom.
  20. Sebutkan dan jelaskan dua macam mutagen.





Sumber: *Biology, Raven & Johnson*

Kapal H.M.S. Beagle (replika)



Manusia dikaruniai Tuhan akal dan pikiran. Tuhan berkehendak agar dengan akal dan pikirannya itu, manusia mau berpikir tentang makhluk ciptaan Tuhan, yaitu makhluk hidup dan alam semesta. Berbekal ilmu pengetahuan manusia ingin menyibak tabir misteri kehidupan tentang bagaimana alam semesta diciptakan.

Salah seorang yang mencoba menguak misteri kehidupan itu bernama Charles Robert Darwin. Berdasarkan pengamatannya, Darwin mengajukan teori Evolusi. Apakah yang mendasari teori Evolusi Darwin?

Pada bab ini, Anda akan mempelajari tentang teori Evolusi. Setelah itu, Anda diharapkan dapat menjelaskan tentang teori Evolusi serta implikasinya pada perkembangan sains.



### Kata Kunci

evolusi	?
seleksi alam	?
mutasi	?
fosil	?
Darwin	?
adaptasi	?
variasi	?
nene moyang	?
asal-usul kehidupan	?
perubahan	?

Akan tetapi sebelum Anda mempelajari Teori Evolusi, Anda perlu mengenal beberapa teori asal-usul kehidupan berikut.

## A. Teori Asal Usul Kehidupan

Pada bab ini kita akan runut lebih awal tentang asal usul kehidupan, yang sampai saat ini masih menjadi misteri.

### 1. Teori Abiogenesis

Menurut teori ini, makhluk hidup berasal dari benda tidak hidup atau dengan kata lain makhluk hidup ada dengan sendirinya. Oleh karena makhluk itu ada dengan sendirinya maka teori ini dikenal juga dengan teori *Generatio Spontanea*. **Aristoteles** merupakan salah satu pelopor teori ini, dengan percobaan yang dilakukannya pada tanah yang direndam air akan muncul cacing.

Pendukung lain teori Abiogenesis adalah **Nedham**, seorang ilmuwan dari Inggris. Nedham melakukan penelitian dengan merebus kaldu dalam wadah selama beberapa menit kemudian ditutup dengan gabus. Setelah beberapa hari, terdapat bakteri dalam kaldu tersebut. Nedham berpendapat bahwa bakteri berasal dari kaldu.

Setelah ditemukan mikroskop, Antonie van Leeuwenhoek melihat adanya mikroorganisme (*animalculus*) di dalam air rendaman jerami. Temuan ini seolah-olah menguatkan teori Abiogenesis. Para pendukung teori Abiogenesis menyatakan bahwa mikroorganisme itu berasal dari jerami yang membusuk. Akan tetapi, Leeuwenhoek menolak pernyataan itu dengan mengemukakan bahwa mikroorganisme itu berasal dari udara.

Para penganut abiogenesis tersebut di atas dalam menarik kesimpulan sebenarnya terdapat kelemahan, yaitu belum mampu melihat benda yang sangat kecil (bakteri, kista, ataupun telur cacing) yang terbawa dalam materi percobaan yang digunakan. Hal ini karena pada zaman Aristoteles belum ditemukan mikroskop. Walaupun ada kelemahan pada percobaan, tetapi cara berpikir dalam mencari jawaban mengenai asal usul kehidupan di bumi ini sudah mengacu pada pola metode ilmiah.

### 2. Teori Biogenesis

Teori Biogenesis menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup. Tokoh pendukung teori ini antara lain **Francesco Redi**, **Lazzaro Spallanzani**, dan **Louis Pasteur**. Francesco Redi merupakan orang pertama yang melakukan penelitian untuk membantah teori Abiogenesis.

#### a. Percobaan Francesco Redi

Francesco Redi melakukan penelitian menggunakan 8 tabung yang dibagi menjadi 2 bagian. Empat tabung masing-masing diisi dengan daging ular, ikan, roti dicampur susu, dan daging. Keempat tabung dibiarkan terbuka. Empat tabung yang lain diperlakukan sama dengan 4 tabung pertama, tetapi tabung ditutup rapat. Setelah beberapa hari pada tabung yang terbuka terdapat larva yang akan menjadi lalat.



#### Eksperimen Plus

##### Menguji Penelitian Aristoteles dan Nedham

Coba lakukan percobaan seperti yang dilakukan Aristoteles dan Nedham.

###### Pertanyaan:

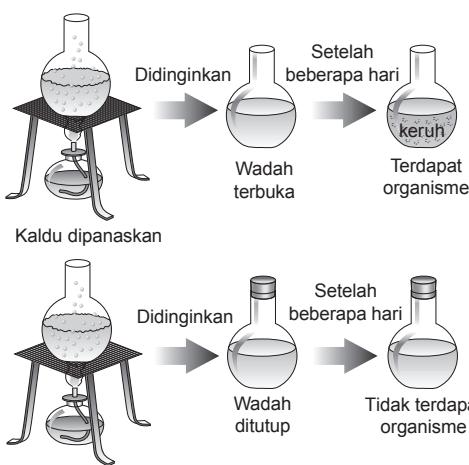
1. Apakah hasil percobaan Anda seperti yang diperoleh Aristoteles dan Nedham?
2. Menurut Anda, dari manakah asal cacing tanah atau bakteri pada percobaan di atas?
3. Bagaimana pendapat Anda tentang teori Abiogenesis?



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 7.1**

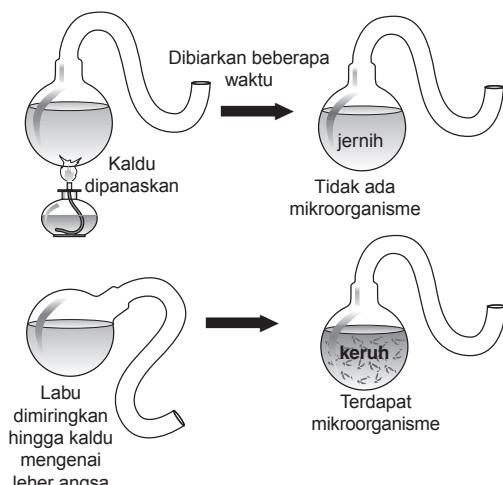
Bagan percobaan Francesco Redi



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 7.2**

Bagan percobaan L. Spallanzani



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 7.3**

Bagan percobaan Louis Pasteur

Berdasarkan hasil percobaannya, Redi menyimpulkan bahwa ulat bukan berasal dari daging, tetapi berasal dari telur lalat yang terdapat dalam daging dan menetas menjadi larva. Penelitian ini ditentang oleh penganut teori Abiogenesis karena pada tabung yang tertutup rapat, udara dan zat hidup tidak dapat masuk sehingga tidak memungkinkan untuk adanya suatu kehidupan. Bantahan itu mendapat tanggapan dari Redi. Redi melakukan percobaan yang sama, namun tutup diganti dengan kain kasa sehingga udara dapat masuk dan ternyata dalam daging tidak terdapat larva.

### b. Percobaan Lazzaro Spallanzani

Lazzaro Spallanzani pada tahun 1765 melakukan percobaan untuk menyanggah kesimpulan yang dikemukakan oleh Nedham. Lazzaro Spallanzani melakukan percobaan dengan memanaskan 2 tabung kaldu sehingga semua organisme yang ada di dalam kaldu terbunuh. Setelah didinginkan kaldu tersebut dibagi menjadi 2, satu tabung dibiarkan terbuka dan satu tabung yang lain ditutup. Ternyata pada tabung yang terbuka terdapat organisme, sedangkan pada tabung yang tertutup tidak terdapat organisme.

### c. Percobaan Louis Pasteur

Louis Pasteur melakukan percobaan menggunakan labu leher angsa. Pertama-tama kaldu direbus hingga mendidih, kemudian didiamkan. Setelah beberapa hari, air kaldu tetap jernih dan tidak mengandung mikroorganisme. Adanya leher angsa memungkinkan udara dapat masuk ke dalam tabung, tetapi mikroorganisme udara akan terhambat masuk karena adanya uap air pada pipa leher. Namun, apabila tabung dimiringkan hingga air kaldu sampai ke permukaan pipa, air kaldu tersebut akan terkontaminasi oleh mikroorganisme udara. Akibatnya setelah beberapa waktu, air kaldu akan keruh karena terdapat mikroorganisme.

Berdasarkan hasil percobaan para ilmuwan tersebut maka muncullah teori baru yaitu teori Biogenesis yang menyatakan bahwa:

- setiap makhluk hidup berasal dari telur = *omne vivum ex ovo*,
- setiap telur berasal dari makhluk hidup = *omne ovum ex vivo*,
- setiap makhluk hidup berasal dari makhluk hidup sebelumnya = *omne vivum ex vivo*.

Perhatikan ikhtisar percobaan yang dilakukan oleh Nedham, L. Spallanzani, dan L. Pasteur dalam Tabel 7.1 berikut.

**Tabel 7.1 Perbandingan Percobaan yang Dilakukan Nedham, L. Spallanzani, dan L. Pasteur**

Keterangan	Nedham	L. Spallanzani	L. Pasteur
Bahan Perlakuan	Kaldu Merebus kaldu beberapa menit, kemudian menutup botol dengan sumbat gabus	Kaldu Merebus kaldu cukup lama sehingga semua organisme mati kemudian botol ditutup dengan rapat	Kaldu Merebus kaldu hingga mendidih, memasukkan kaldu dalam botol leher angsa
Reaksi	Tumbuh bakteri	Tidak tumbuh bakteri	Tidak tumbuh bakteri

### 3. Teori Cosmozoic

Teori Cosmozoic atau teori Kosmozoan menyatakan bahwa asal mula makhluk hidup bumi berasal dari "spora kehidupan" yang berasal dari luar angkasa. Keadaan planet di luar angkasa diliputi kondisi kekeringan, suhu yang sangat dingin serta adanya radiasi yang mematikan sehingga tidak memungkinkan kehidupan dapat bertahan. Pada akhirnya spora kehidupan itu sampai ke bumi. Teori ini tidak dapat diterima oleh banyak ilmuwan.

### 4. Teori Penciptaan (*Special Creation*)

Teori ini berpandangan bahwa makhluk hidup diciptakan oleh Tuhan seperti apa adanya. Paham ini hanya membicarakan perkembangan materi sampai terbentuknya organisme tanpa menyinggung asal usul materi kehidupan. Penciptaan setiap jenis makhluk hidup terjadi secara terpisah. Teori ini tidak berdasarkan suatu eksperimen.

### 5. Teori Evolusi Biokimia

Teori ini mencoba menggali informasi asal usul makhluk hidup dari sisi biokimia. Menurut Oparin dalam bukunya yang berjudul *The Origin of Life* (1936) menyatakan bahwa asal mula kehidupan terjadi bersamaan dengan evolusi terbentuknya bumi beserta atmosfernya. **Alexander Oparin** adalah ahli evolusi molekular berkebangsaan Rusia. Lebih lanjut, Oparin menjelaskan bahwa pada mulanya atmosfer bumi purba terdiri atas metana ( $\text{CH}_4$ ), amonia ( $\text{NH}_3$ ), uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dan gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ). Oleh karena adanya pemanasan dan energi alam, berupa sinar kosmis dan halilintar, gas-gas tersebut mengalami perubahan menjadi molekul organik sederhana, sejenis substansi asam amino.

Selama berjuta-juta tahun, senyawa organik itu terakumulasi di cekungan perairan membentuk *primordial soup*, seperti semacam campuran materi-materi di lautan panas. Tahap selanjutnya, *primordial soup* ini membentuk monomer. Monomer bergabung membentuk polimer. Polimer membentuk agregasi berupa protobion. **Protobion** adalah bentuk awal sel hidup yang belum mampu bereproduksi, tetapi mampu memelihara lingkungan kimia dalam tubuhnya. Di samping itu, protobion juga telah memperlihatkan sifat yang berhubungan dengan makhluk hidup, seperti dapat melakukan metabolisme, kemampuan menerima rangsang, dan bereplikasi sendiri.

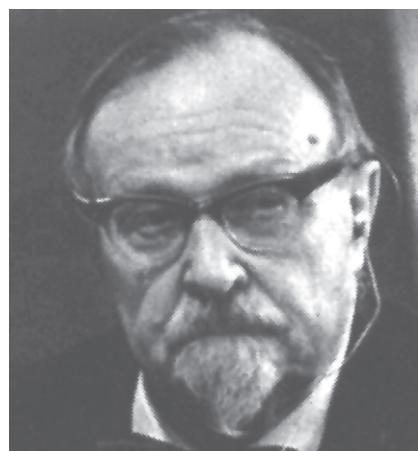
Terbentuknya polimer dari monomer-monomer telah dibuktikan oleh **Sydney W. Fox**. Dalam percobaannya, Fox memanaskan 18–20 macam asam amino pada titik leburnya dan didapatkan protein.

Pendapat Alexander Oparin mendapat dukungan dari ahli kimia Amerika Serikat, bernama **Harold Urey**. Urey menyatakan bahwa atmosfer bumi purba terdiri atas gas-gas metana ( $\text{CH}_4$ ), amonia ( $\text{NH}_3$ ), uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dan gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ). Dengan adanya energi alam (berupa halilintar dan sinar kosmis), campuran gas-gas tersebut membentuk asam amino.



Gambar 7.4

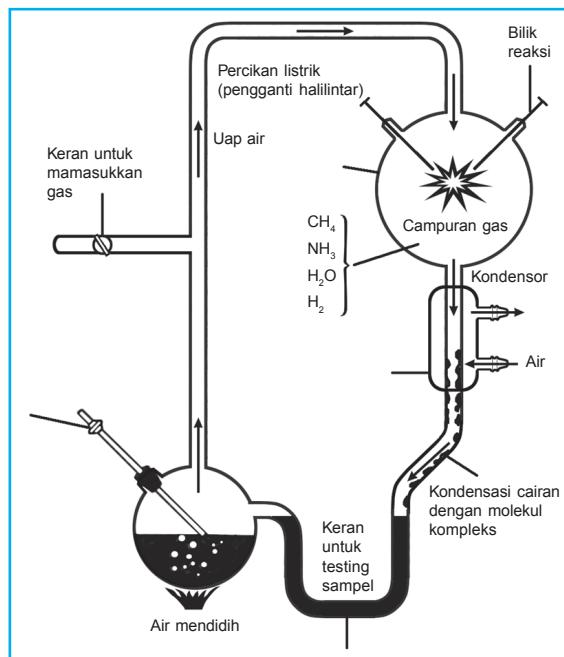
Beberapa meteor terdiri dari senyawa fosfor dan asam amino



Gambar 7.5

Alexander Oparin, salah satu pendukung teori evolusi biokimia

Pada tahun 1953, seorang mahasiswa Harold Urey, yaitu **Stanley Miller** (USA) mencoba melakukan eksperimen untuk membuktikan kebenaran teori yang dikemukakan Urey. Percobaannya itu juga dikenal dengan **eksperimen Miller-Urey**.



Sumber: *Biology*, Mader S.S.

**Gambar 7.6**

Alat percobaan Miller-Urey

Terdiri atas bagian yang berupa sebuah tabung tertutup yang dihubungkan dengan 2 ruangan. Ruangan atas berisi beberapa gas yang menggambarkan keadaan atmosfer bumi purba. Selanjutnya pada tempat ini diberi percikan listrik yang menggambarkan halilintar. Kondensor berfungsi untuk mendinginkan gas, menyebabkan terbentuknya tetesan-tetesan air yang menggambarkan lautan. Beberapa molekul kompleks yang terbentuk di ruangan atmosfer, dilarutkan dalam tetesan-tetesan air ini dan dibawa ke ruangan lautan tempat sampel yang terbentuk diambil untuk dianalisis.

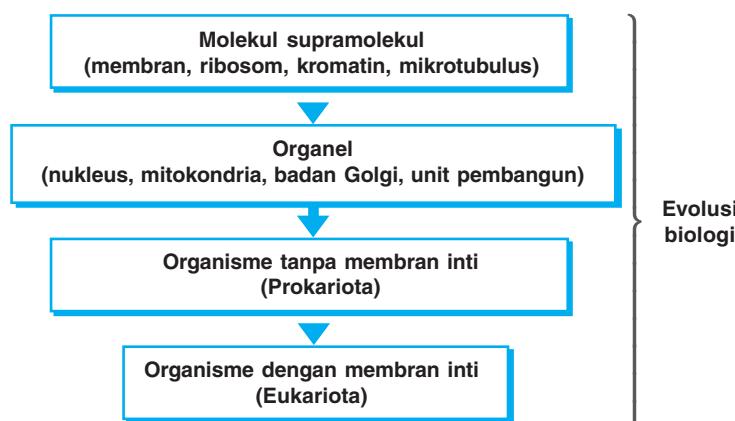
Miller menggunakan campuran gas yang diasumsikan terdapat di atmosfer bumi purba, yaitu amonia, metana, hidrogen, dan uap air dalam percobaannya. Oleh karena dalam kondisi alamiah gas-gas itu tidak mungkin bereaksi, Miller memberi stimulus energi listrik tegangan tinggi, sebagai pengganti energi alam (halilintar dan sinar kosmis).

Miller mendidihkan campuran gas tersebut pada suhu 100°C selama seminggu. Pada akhir percobaan, Miller menganalisis senyawa-senyawa kimia yang terbentuk di dasar gelas percobaan dan menemukan 3 jenis dari 20 jenis asam amino.

Keberhasilan percobaan Miller ini memunculkan hipotesis lanjutan tentang asal-usul kehidupan. Para evolusionis menyatakan bahwa asam-asam amino kemudian bergabung dalam urutan yang tepat secara kebetulan untuk membentuk protein. Sebagian protein-protein yang terbentuk secara kebetulan ini menempatkan diri mereka pada struktur seperti membran sel yang diikuti pembentukan sel primitif. Sel-sel ini kemudian bergabung membentuk organisme hidup. Mereka menyebutnya sebagai evolusi biologi. Bagaimana evolusi biologi terjadi?

## 6. Evolusi Biologi

Oparin dan Haldane serta teori Urey menyebutkan bahwa zat organik (asam amino) yang merupakan bahan dasar penyusun makhluk hidup, pada mulanya terakumulasi di lautan. Kenyataan saat ini menunjukkan bahwa dalam sel-sel tubuh makhluk hidup mengandung garam (NaCl). Hal ini mendasari kesimpulan bahwa makhluk hidup berasal dari laut.



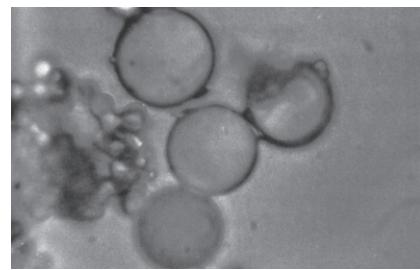
Evolusi biologi dimulai pada saat pembentukan sel. Asam amino yang terbentuk dari evolusi kimia akan bergabung membentuk makromolekul. Hal ini dibuktikan pada penelitian Sidney W. Fox. Larutan yang mengandung monomer-monomer organik diteteskan ke pasir, batu, atau tanah yang panas sehingga mengalami polimerisasi. Hasil polimerisasi ini dinamakan *proteinoid*. Apabila proteinoid dicampur dengan air dingin terbentuklah kumpulan proteinoid yang menyusun tetesan kecil yang disebut mikrosfer. Mikrosfer memiliki beberapa sifat hidup yang mempunyai membran selektif permeabel namun belum dapat dikatakan hidup.

Oparin menggunakan istilah koaservat untuk mikrosfer. Koaservat merupakan tetesan koloid yang terbentuk saat larutan protein, asam nukleat, dan polisakarida dikocok.

Substansi dalam koaservat dapat membentuk enzim yang berperan dalam pengambilan bahan dari lingkungan sebagai bahan pembentuk tubuh. Adanya deretan molekul-molekul lipid dan protein yang membatasi koaservat dengan lingkungan luar sekitarnya, telah dianggap sebagai selaput sel primitif. Selaput sel primitif ini menyebabkan stabilitas koaservat akan tetap terjaga. Selaput sel primitif ini diperkirakan berperan dalam pengaturan pertukaran substansi antara koaservat dan lingkungan sekitarnya. Koaservat dengan selaput lipid protein mungkin merupakan tipe sel primitif yang disebut protosel.

Protosel kemudian akan membentuk sel awal yang merupakan permulaan dari organisme uniselular. Oleh karena keadaan atmosfer saat itu tidak mengandung O<sub>2</sub>, organisme awal tersebut diperkirakan bersifat prokariotik, anaerob, dan heterotrof.

Bagaimana protosel dapat berkembang menjadi organisme uniselular, bahkan menjadi makhluk hidup multiselular seperti saat ini? Perkembangan protosel menjadi organisme uniselular maupun



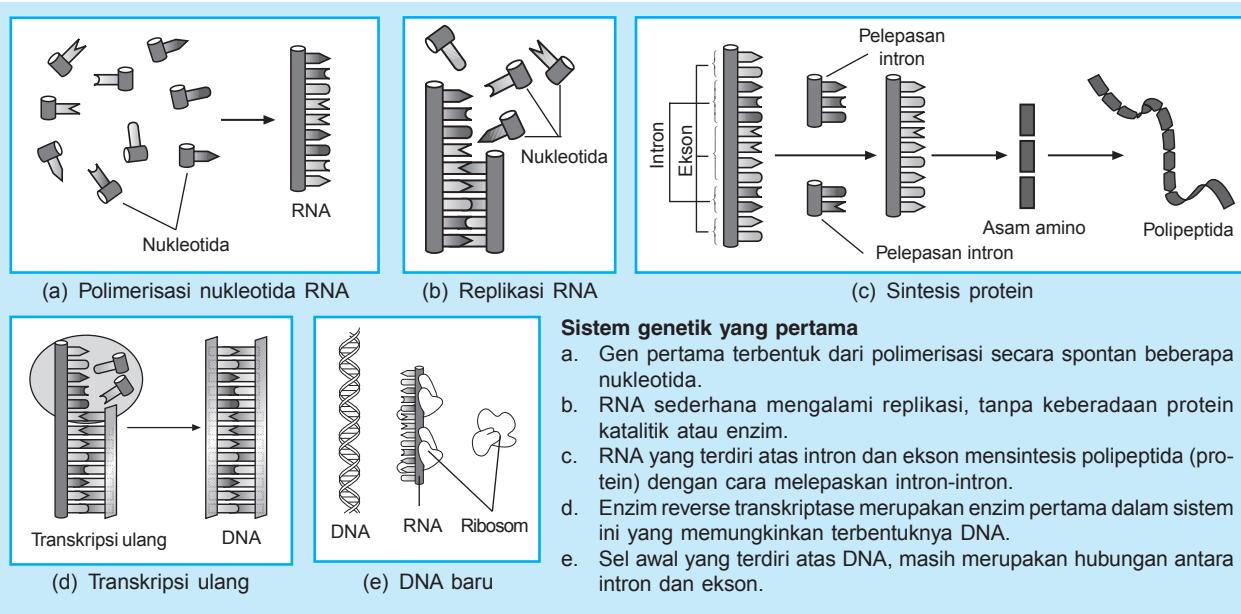
Sumber: Biology, Campbell

Gambar 7.7

Kumpulan proteinoid

Proteinoid merupakan polipeptida yang secara spontan berpolimerisasi dari penguapan kumpulan asam amino. Proteinoid dibentuk oleh aktivitas vulkanik yang tinggi.

multiselular tidak terlepas dari sistem genetik pada protosel itu sendiri. Sehubungan dengan hal itu, seorang ahli biokimia dari Havard yaitu **Walter Gilbert** pada tahun 1986 mengajukan **hipotesis dunia RNA**. Menurut hipotesis itu, miliaran tahun yang lalu sebuah molekul RNA yang dapat mereplikasi terbentuk secara kebetulan. Melalui pengaktifan oleh lingkungan, RNA ini dapat memproduksi protein. Selanjutnya, diperlukan molekul kedua untuk menyimpan informasi tersebut, maka dengan suatu cara tertentu terbentuklah DNA. Perhatikan Gambar 7.8 sistem genetik yang pertama agar Anda lebih jelas.



#### Sistem genetik yang pertama

- Gen pertama terbentuk dari polimerisasi secara spontan beberapa nukleotida.
- RNA sederhana mengalami replikasi, tanpa keberadaan protein katalitik atau enzim.
- RNA yang terdiri atas intron dan ekson mensintesis polipeptida (protein) dengan cara melepaskan intron-intron.
- Enzim reverse transkriptase merupakan enzim pertama dalam sistem ini yang memungkinkan terbentuknya DNA.
- Sel awal yang terdiri atas DNA, masih merupakan hubungan antara intron dan ekson.

#### Catatan:

- Intron dan ekson biasanya merupakan kelipatan kode triplet.
- Intron adalah penyusun RNA yang tidak dapat diekspresikan, sedangkan ekson merupakan penyusun RNA yang dapat diekspresikan.

Sumber: Dokumentasi Penerbit

#### Gambar 7.8

Tahap-tahap pembentukan sistem genetik yang pertama

Segera setelah protosel memperoleh gen yang mampu mereplikasi menyebabkan protosel mampu bereproduksi, dan dimulailah proses evolusi biologi. Sejarah kehidupan pun telah dimulai. Selanjutnya organisme-organisme mengalami proses evolusi menurut jalur kehidupan yang berbeda-beda.

Anda telah mempelajari pendapat beberapa ilmuwan tentang asal usul kehidupan. Bagaimana pendapat Anda?

#### Tugas Mandiri

Carilah informasi dari berbagai sumber tentang asal usul kehidupan. Berdasarkan informasi tersebut, kemukakan pendapat Anda tentang asal usul kehidupan dalam bentuk artikel. Presentasikan artikel Anda di kelas, mintalah tanggapan dari teman-teman dan guru Anda.



## Uji Kompetensi A

Jawablah soal-soal berikut.

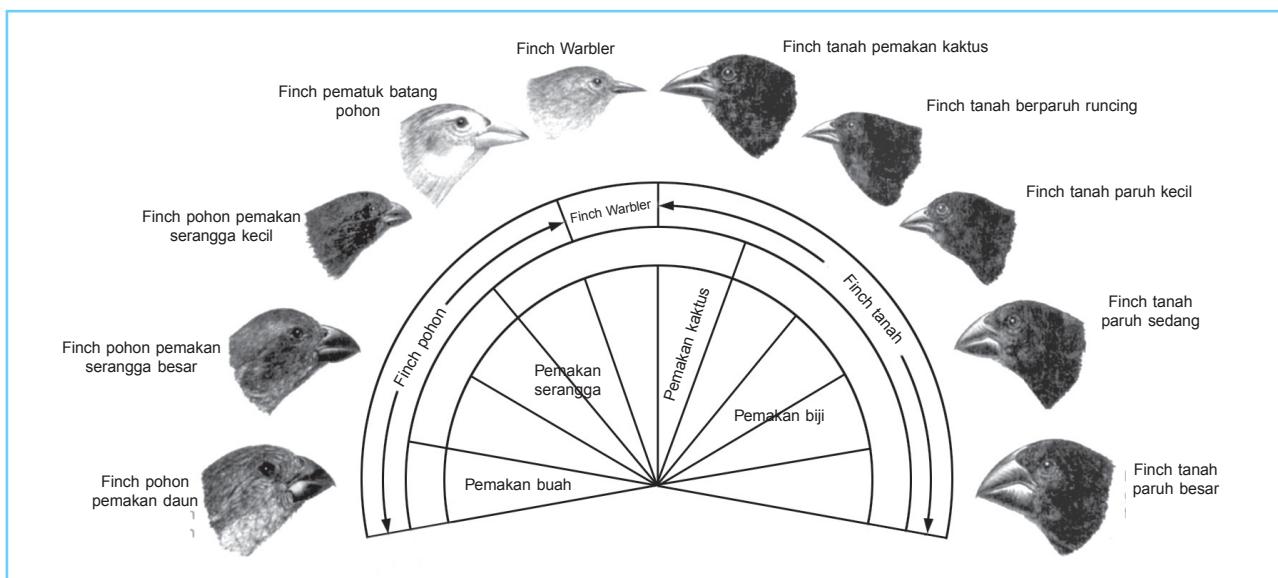
1. Mengapa Aristoteles meyakini bahwa makhluk hidup berasal dari benda tidak hidup?
2. Apa yang mendasari Francesco Redi menolak teori Abiogenesis?

3. Bagaimana usaha Miller untuk menguji kebenaran hipotesis Alexander Oparin dan Harold Urey? Jelaskan.
4. Jelaskan asal usul kehidupan menurut pemahaman Anda.

## B. Sejarah Munculnya Teori Evolusi

Pada dasarnya teori evolusi muncul sebagai salah satu jalan untuk mencari tahu asal mula makhluk hidup. Salah satu tokoh pencetus evolusi adalah Darwin. Berikut akan dibahas mengenai sejarah munculnya teori tersebut.

Selama lima tahun Darwin menjelajahi beberapa belahan dunia. Di dalam perjalanannya itu, Darwin sangat takjub dengan adanya beragam spesies burung finch dan kura-kura raksasa di Kepulauan Galapagos (suatu kepulauan terletak di sebelah barat daratan Amerika Selatan). Burung-burung itu memiliki kemiripan satu sama lain, hanya paruhnya yang berbeda (perhatikan Gambar 7.9). Menurut dugaan Darwin, variasi pada paruh burung-burung itu disebabkan oleh proses adaptasi habitat. Ketakjuban terhadap burung-burung finch inilah yang mendasari Darwin mengemukakan teori Evolusi.



Sumber: Biology, Raven & Johnson

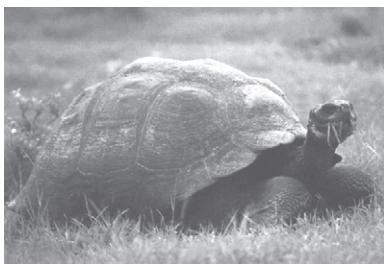
**Gambar 7.9**

Variasi paruh sepuluh burung finch (pipit) yang ditemukan Darwin di Pulau Santa Cruz (salah satu pulau di Kepulauan Galapagos)

Pada gambar di atas tampak bahwa terdapat berbagai jenis burung finch. Menurut Darwin, burung finch yang terdapat di Kepulauan Galapagos semula berasal dari satu spesies burung finch pemakan biji yang terdapat di daratan Amerika Selatan. Burung-burung itu bermigrasi karena faktor makanan. Selama bermigrasi burung-burung itu terdampar di tempat yang berbeda-beda. Burung-



Kura-kura cangkang "pelana"



Kura-kura cangkang "kubah"

Sumber: Biology, Raven & Johnson

#### Gambar 7.10

Dua jenis kura-kura yang hidup di Kepulauan Galapagos

burung itu harus mencari makanan, terutama biji-bijian seperti di daerah asalnya agar dapat bertahan hidup. Sementara itu, beberapa burung finch mencoba mencari jenis makanan lain, seperti serangga, madu, kaktus, dan buah. Akibat proses adaptasi terhadap variasi jenis makanan inilah burung-burung finch itu akhirnya mempunyai bentuk paruh yang bervariasi. Burung finch pemakan serangga mempunyai paruh tebal, lurus, dan berlidah pendek. Sementara burung finch pemakan kaktus mempunyai paruh lurus dan agak panjang. Selain burung-burung finch, Darwin juga mengamati kura-kura raksasa di Kepulauan Galapagos.

Darwin melihat adanya dua jenis kura-kura yang sangat berbeda pada kepulauan itu. Kura-kura Galapagos berukuran besar dengan tipe cangkang yang melengkung seperti kubah. Kura-kura ini ditemukan pada habitat basah. Sementara itu, di kepulauan lain yang habitatnya kering, ditemukan kura-kura berukuran kecil dengan cangkang berbentuk pelana (lihat Gambar 7.2). Menurut Darwin, penyebabnya adalah adanya perbedaan habitat. Dari sini, pemikiran Darwin mengenai variasi makhluk hidup mulai berkembang.

Fenomena burung finch dan kura-kura Galapagos tersebut menimbulkan gagasan Darwin dan menyatakan bahwa individu-individu yang beradaptasi pada habitat mereka dengan baik akan mewariskan sifat-sifat mereka yang unggul kepada generasi berikutnya. Lebih jauh Darwin menyatakan bahwa sifat-sifat unggul atau menguntungkan ini lama-lama terakumulasi dan mengubah populasi menjadi spesies yang sama sekali berbeda dengan nenek moyangnya. Berdasarkan hal ini pula Darwin menganggap manusia merupakan spesies paling maju. Melalui mekanisme ini pula spesies baru akan terbentuk. Oleh Darwin, mekanisme ini dinamakan **evolusi melalui seleksi alam** dan mempublikasikan pandangannya tersebut dalam bukunya yang berjudul *The Origin of Species, By Means of Natural Selection* pada tahun 1859.

Darwin banyak mempelajari buku-buku karya ilmuwan lain untuk memperkuat hipotesisnya. Buku-buku tersebut di antaranya buku *Principles of Geology* karya **Charles Lyell** (1797–1875) yang terbit pada tahun 1830 dan buku *The Principles of Population* karya **Thomas Malthus** yang terbit pada tahun 1798.

Berdasarkan tulisan Charles Lyell, Darwin mendapat masukan bahwa bumi mengalami perubahan terus-menerus, sehingga hal ini menyebabkan adanya variasi karena pengaruh alam. Sementara itu dalam tulisan Malthus, dikatakan bahwa populasi tumbuhan dan hewan (termasuk manusia) cenderung mengalami peningkatan secara geometri, sedangkan persediaan pangan cenderung meningkat secara aritmatik. Keadaan ini mengakibatkan pangan yang tersedia lebih sedikit daripada yang membutuhkan. Akibatnya, terjadilah perebutan makanan di antara makhluk hidup yang memiliki jenis makanan sama. Berdasarkan pandangan tersebut, Darwin menyimpulkan adanya seleksi alam berdasarkan ketersediaan pangan. Di samping itu, ada juga seleksi alam berdasarkan kondisi habitat, iklim, dan lain-lain. Makhluk hidup yang memenangkan persaingan dapat melangsungkan kehidupannya. Sebaliknya, yang kalah dalam persaingan akan mengalami kepunahan.

Menurut teori Evolusi Darwin: Manusia berasal dari makhluk paling sederhana yang telah mengalami perubahan-perubahan bentuk dan sifat selama berjuta-juta tahun.

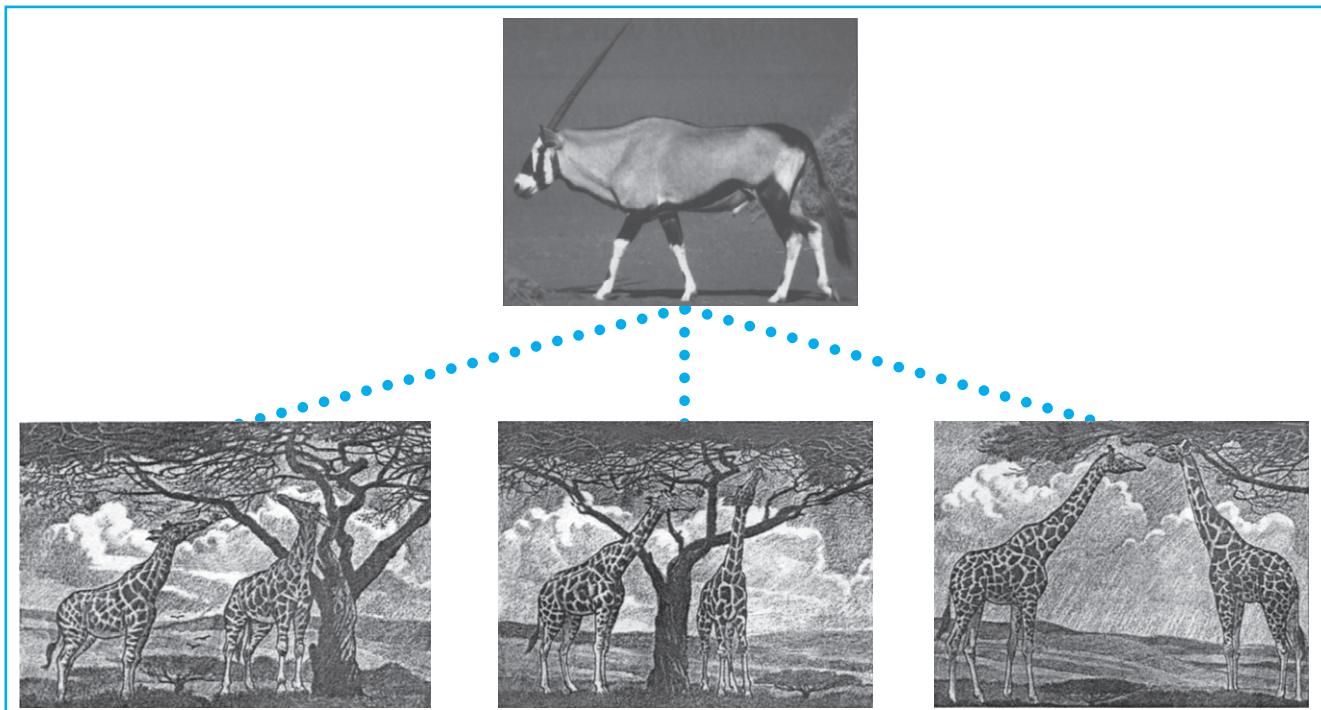


Sebelum mempublikasikan pendapatnya, Darwin mendapat dukungan pula dari ilmuwan Inggris yaitu **Alfred Russel Wallace** (1823–1913). Wallace mengirimkan makalahnya kepada Darwin dari Malaysia. Dalam makalahnya, Wallace juga membahas tentang evolusi oleh seleksi alam. Akan tetapi, teori Wallace ini berkembang tanpa terpengaruh oleh Darwin. Artinya, kedua ilmuwan itu mengemukakan pendapat yang sama, yaitu adanya evolusi oleh seleksi alam. Seperti halnya Darwin, teori Wallace ini dipengaruhi juga oleh makalah Malthus yang diterbitkan tahun 1798 (*The Principles of Population*).

Sebenarnya hipotesis Darwin tentang evolusi terilhami oleh pernyataan ahli biologi Prancis yaitu **J.B. de Lamarck** (1744–1829). Lamarck mengajukan teori Evolusi jauh sebelum Darwin mengemukakan tentang teori Evolusinya. Lamarck mengemukakan teorinya yang dikenal dengan paham "digunakan dan tidak digunakan", dalam bentuk postulat sebagai berikut.

1. Semua organisme mempunyai kemampuan menjadi organisme yang lebih kompleks.
2. Organisme dapat berubah sebagai respon terhadap lingkungan.
3. Organ tubuh makhluk hidup yang sering digunakan akan berkembang terus, sedangkan organ yang tidak sering digunakan akan mengalami atropi (penyusutan) dan bahkan mereduksi (hilang).

Selain itu, menurut Lamarck, makhluk hidup mewariskan sifat-sifat yang diperoleh selama hidupnya dari satu generasi ke generasi berikutnya sehingga terjadilah evolusi. Dalam bukunya yang berjudul *Philosophie Zoologique*, Lamarck menjelaskan tentang evolusi jerapah, seperti Gambar 7.11 berikut.



Sumber: *Biology, Campbell*

**Gambar 7.11**

Leher jerapah bertambah panjang karena digunakan untuk menjangkau dahan yang lebih tinggi

Menurut Lamarck, jerapah berevolusi dari binatang sejenis antelop. Perubahan mulai terjadi ketika binatang-binatang itu memanjangkan lehernya sedikit demi sedikit dan dari generasi ke generasi untuk meraih dadaun yang lebih tinggi sebagai makanannya. Akhirnya binatang itu memiliki leher panjang seperti yang kita lihat pada leher jerapah saat ini. Namun, teori Evolusi Lamarck ternyata tidak benar karena sifat yang diperoleh setelah lahir tidak dapat diwariskan kepada keturunannya. Darwin menggunakan hipotesis tentang “pewarisan sifat-sifat yang diperoleh” sebagai faktor yang menyebabkan makhluk hidup berevolusi. Secara ringkas teori Evolusi yang dikemukakan Darwin memuat dua hal pokok berikut.

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

Mengenai seleksi alam akan dibahas lebih rinci pada subbab D tentang Mekanisme Evolusi. Sebelum membahas subbab selanjutnya coba Anda kerjakan Uji Kompetensi B berikut.

### Uji Kompetensi B

Jawablah soal-soal berikut.

1. Apakah evolusi itu?
2. Fenomena apa yang ditemukan Darwin ketika melihat beragam jenis burung finch di Kepulauan Galapagos?
3. Jelaskan sumbangan pemikiran yang diperoleh Darwin setelah membaca buku *The Principles*

*of Population* karya Thomas Malthus terhadap teori Evolusi yang dikemukakannya.

4. Bagaimana terjadinya evolusi jerapah menurut Lamarck? Jelaskan dengan gambar.
5. Prinsip apakah yang dipetik Darwin setelah membaca buku *The Principles of Geology* karya Charles Lyell?

## C. Bukti-Bukti yang Mendukung Teori Evolusi

Masih ingatkah Anda tentang film *Jurassic Park* yang sempat menggemparkan dunia perfilman? Film tersebut menceritakan bahwa manusia berhasil “menghidupkan kembali” binatang purba macam *Tyrannosaurus* dan *Bronthosaurus*. Kedua binatang yang berukuran raksasa ini diyakini pernah hidup pada masa lampau. Benarkah kedua binatang itu pernah ada di muka bumi? Apakah ada hubungannya kedua binatang itu dengan proses evolusi makhluk hidup?

Menurut kaum evolusionis (penganut teori Evolusi) makhluk hidup mengalami evolusi. Menurut mereka, makhluk hidup yang ada sekarang merupakan hasil evolusi makhluk hidup yang hidup pada masa lampau. Proses evolusi itu memakan waktu jutaan tahun.

Beberapa faktor yang memperkuat dugaan adanya evolusi makhluk hidup, antara lain **rekaman fosil**, **embriologi perbandingan**, **homologi**, dan **organ vestigial**.

### 1. Rekaman Fosil

Teori Evolusi menyatakan bahwa setiap jenis makhluk hidup berasal dari satu nenek moyang yang sama. Berdasarkan hal ini dapat diartikan bahwa spesies yang ada sebelumnya lambat

lau mengalami perubahan menjadi spesies lain, dari spesies primitif menjadi maju. Di samping itu, **Leonardo da Vinci** (1452–1519) menyatakan bahwa fosil merupakan bukti adanya kehidupan pada masa lampau. Oleh karena itu, diharapkan dengan mempelajari fosil teori Evolusi dapat dibuktikan. Jika anggapan itu benar, maka akan terdapat sejumlah fosil yang mengarah terjadinya evolusi makhluk hidup. Adapun beberapa fosil yang telah ditemukan sebagai berikut.



Sumber: Dari berbagai sumber

**Gambar 7.12**

Penemuan fosil dan perkiraan usianya

Setelah mempelajari fosil-fosil yang ditemukan arkeolog, para ahli geologi membuat rekaman peristiwa pemunculan organisme. Coba cermati salah satu rekaman peristiwa dalam tabel 7.2 berikut.

**Tabel 7.2 Skala Waktu Geologi**

Zaman	Periode	Episode	Umur (Juta Tahun)	Peristiwa Penting dalam Sejarah Kehidupan
Senozoikum	Kuarter	Sekarang	0,01	Waktu bersejarah
		Pleistosen	1,8	Abad es, manusia muncul
	Tertier	Pleisen	5	Ditemukan manusia kera nenek moyang manusia
		Miosen	23	Penyebaran lanjutan Mammalia dan Angiospermae
		Oligosen	34	Mammalia modern, termasuk kera
		Eosen	57	Peningkatan dominansi Angiospermae dan peningkatan keanekaragaman Mammalia
		Paleosen	65	Penyebaran besar-besaran Mammalia, burung, dan serangga penyebuk
	Mesozoikum	Cretaseus	144	Pemunculan tumbuhan berbunga (Angiospermae); dinosaurus punah
		Jurassik	208	Tumbuhan didominasi oleh Gymnospermae; dominansi dinosaurus; burung pertama
		Triassik		Gymnospermae mendominasi bentang lahan; dinosaurus dan Mammalia pertama

Zaman	Periode	Episode	Umur (Juta Tahun)	Peristiwa Penting dalam Sejarah Kehidupan
Paleozoikum	Permian		245	
			286	Penyebaran Reptilia, munculnya Mammalia menyerupai <i>Reptilia</i> dan ordo serangga modern; punahnya Invertebrata laut primitif
	Carboniferous		360	Perluasan hutan tanaman berpembuluh; tumbuhan biji pertama, munculnya spesies Reptilia
			408	Diversifikasi ikan bertulang; Amphibia dan serangga pertama
	Silurian		438	Melimpahnya Vertebrata tak berahang; kolonisasi tanah oleh tumbuhan dan Arthropoda; asal usul tumbuhan berpembuluh
			505	Vertebrata pertama (hewan tak berahang); melimpahnya ganggang laut
	Cambrian		544	Asal mula sebagian besar filum Invertebrata
			700	Asal mula hewan
Precambrian			1500	Fosil eukariotik tertua
			2500	Terakumulasinya oksigen di atmosfer
			3500	Fosil prokariotik tertua
			4600	Perkiraan asal mula bumi

Sumber: *Biology, Campbell*

Melihat kenyataan adanya perbedaan fosil makhluk hidup pada setiap lapisan bumi, **George Cuvier** (1769–1832) mempunyai pendapat sendiri. George Cuvier adalah seorang ahli anatomi berkebangsaan Prancis. Menurutnya, perbedaan makhluk hidup itu disebabkan adanya penciptaan yang memang berbeda. Cuvier menyatakan bahwa makhluk hidup itu hadir sesaat, lenyap oleh malapetaka, kemudian tercipta lagi makhluk hidup lain. Teori ini dikenal dengan **katastropisme**. Teori ini jelas-jelas menentang adanya evolusi makhluk hidup.

Darwin menyikapi perbedaan fosil itu dengan pernyataan lain. Berdasarkan kajian fosil, Darwin berpendapat bahwa perubahan bentuk disesuaikan dengan lapisan bumi yang lebih muda. Oleh karena itu, fosil yang ditemukan pada lapisan bumi yang muda berbeda dengan fosil yang ditemukan pada lapisan bumi yang lebih tua. Berdasarkan kajian itu, diyakini pula bahwa makhluk hidup berkembang dari primitif (sederhana) menuju ke maju (kompleks).

Menurut teori Evolusi, spesies yang ada sebelumnya lambat laun berubah menjadi spesies lain, melalui proses perubahan sedikit demi sedikit dalam jangka waktu jutaan tahun. Dengan demikian, dapat diartikan bahwa Amphibia dapat berasal dari ikan. Selanjutnya, Amphibia akan berevolusi menjadi Reptilia dan Reptilia berevolusi menjadi burung. Berdasarkan anggapan ini seharusnya akan ditemukan hewan-hewan transisi atau makhluk transisi, seperti pada Gambar 7.13.

Sayangnya makhluk hidup peralihan ini belum pernah diketemukan fosilnya hingga saat ini. Beberapa fosil makhluk hidup yang telah ditemukan pun masih sulit diidentifikasi. Salah satu kendalanya karena pada umumnya fosil itu ditemukan tidak dalam keadaan utuh.

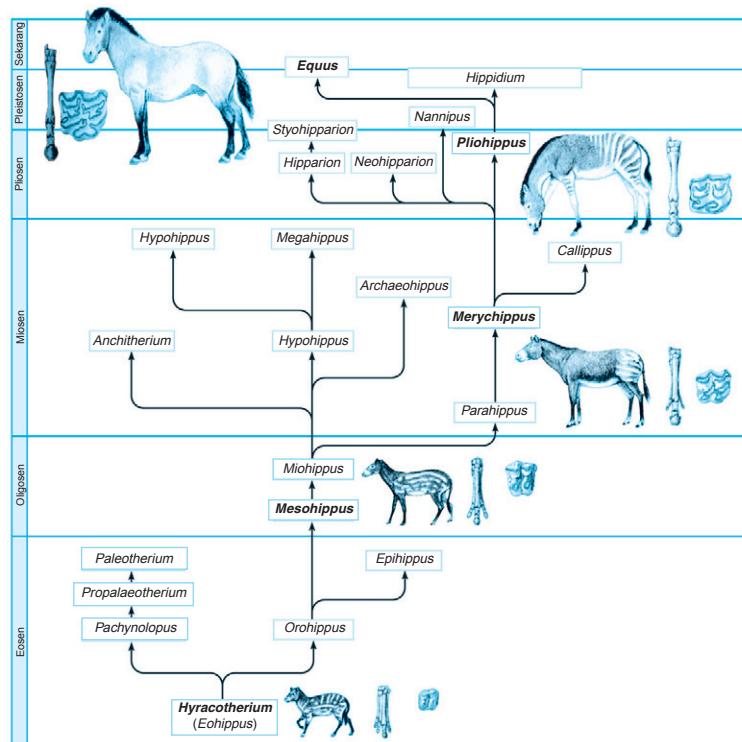


Sumber: *Keruntuhan Teori Evolusi*, Harun Yahya

### Gambar 7.13

Makhluk hidup transisi ikan setengah Reptilia (rekaan)

Berita menggembirakan datang dari dua orang ilmuwan Amerika, yaitu **Marsh** dan **Osborn**. Kedua ilmuwan itu berhasil menemukan fosil kuda dalam keadaan utuh dan berasal pada setiap zaman geologi. Dengan mempelajari fosil-fosil kuda itu, mereka mengambil kesimpulan bahwa kuda telah mengalami evolusi, dari nenek moyangnya *Eohippus* yang sebesar kucing. Bagaimanakah bentuk evolusi kuda itu? Marilah kita pelajari dalam gambar berikut.



Sumber: Biology, Campbell

**Gambar 7.14**  
Evolusi kuda

Berdasarkan Gambar 7.14 di atas dapat diamati adanya perubahan sebagai berikut.

- Ukuran tubuh semakin besar, dari yang semula sebesar kucing sekarang menjadi sebesar kuda.
- Kepala semakin besar dan jarak antara mulut dengan mata semakin jauh.
- Leher semakin panjang.
- Geraham depan dan belakang semakin besar, berlapis email, dan bentuknya makin sesuai untuk memakan rerumputan.
- Kaki depan dan belakang semakin panjang, gerakan semakin lincah, larinya semakin cepat, tetapi rotasi tubuh semakin berkurang.
- Jari kuku dari lima jari menjadi satu jari, bentuknya semakin panjang, jari kedua dan keempat mengalami kemunduran sehingga menjadi organ yang tidak berfungsi lagi (rudimenter).

Lakukan tugas mandiri berikut agar Anda lebih memahami tentang fosil.



### Tahukah Anda

#### *Coelacanth* Bukanlah Hewan Peralihan

Kaum evolusionis mengklaim bahwa fosil *Coelacanth* merupakan hewan transisi yang diperkirakan berumur 410 juta tahun. Menurut mereka, hewan purba ini memiliki paru-paru primitif dan otak yang belum berkembang. Anggapan ini tidak terbantahkan hingga sekitar tahun 1930-an.



Namun, pada tahun 1938 terjadi berita yang menggemparkan. Pada tanggal 22 Desember 1938, di Samudra Hindia ditemukan sejenis ikan yang sangat mirip *Coelacanth*. Bahkan pada tahun-tahun berikutnya ditemukan 200 ekor *Coelacanth* di seluruh penjuru dunia. Pada kenyataannya, hewan ini sejenis dengan ikan yang hidup di dasar samudra pada kedalaman lebih dari 180 m.

Berita ini tentu saja membantah hipotesis kaum evolusionis tentang adanya hewan transisi.

Sumber: Keruntuhan Teori Evolusi, Harun Yahya

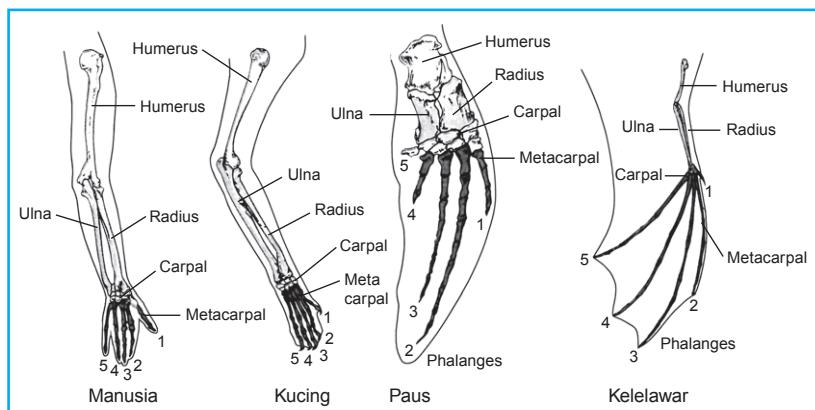


## Tugas Mandiri

Lakukan studi tentang fosil melalui studi pustaka atau kunjungan ke museum atau situs-situs purbakala. Tulislah hasil studi Anda dalam sebuah laporan. Presentasikan laporan studi Anda di kelas. Mintalah tanggapan dari teman dan guru Anda.

## 2. Homologi

Perhatikan kedua tangan Anda. Bandingkan kedua tangan Anda dengan kaki depan kuda. Apakah Anda melihat adanya suatu kesamaan? Dilihat dari fungsinya, tangan kita berbeda dengan kaki depan kuda. Tangan kita mempunyai banyak fungsi, di antaranya untuk bergerak (memanjat, merangkak), menulis, mengambil makanan dan minuman, serta masih banyak lagi kegiatan yang dapat dilakukan tangan. Sementara itu, kaki depan kuda merupakan alat gerak. Perbedaan fungsi itu sangat terkait dengan faktor adaptasi makhluk hidup tersebut terhadap lingkungannya. Namun demikian, secara struktural tangan manusia dengan kaki depan kuda sama. Kondisi organ yang demikian disebut **homolog**, sedangkan peristiwa ini dikenal dengan **homologi**. Contoh organ homolog lainnya adalah antara kaki depan anjing dengan sayap burung, kaki depan buaya dengan sirip dada ikan paus, dan sebagainya. Perhatikan homolog organ pada tangan manusia, kaki depan kucing (mamalia), sirip paus, dan sayap kelelawar pada Gambar 7.15 berikut.



Sumber: *Biology*, Solomon

**Gambar 7.15**

Homologi pada alat gerak beberapa Vertebrata

Homologi dipercaya sangat erat kaitannya dengan evolusi makhluk hidup. Menurut teori Evolusi setiap jenis makhluk hidup berasal dari nenek moyang sama yang kemudian mengalami evolusi menjadi spesies baru. Berdasarkan pernyataan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa makin banyak kemiripan organ (homolog) antarspesies, makin dekat pula hubungan kekerabatan di antara spesies tersebut.

Lawan dari homologi adalah analogi. **Analogi** adalah dua organ tubuh yang memiliki fungsi sama, tetapi asal usulnya berbeda. Misalnya antara sayap burung dengan sayap kupu-kupu. Menurut

kaum evolusionis, analogi menunjukkan bahwa makhluk hidup mengalami evolusi konvergen. Evolusi ini hanya menghasilkan variasi di antara makhluk hidup, tidak menyebabkan terbentuknya spesies baru.



### Tugas Mandiri

Carilah lima contoh organ homolog dan analog untuk lebih memahami perbedaan antara homologi dan analogi.

### 3. Embriologi Perbandingan

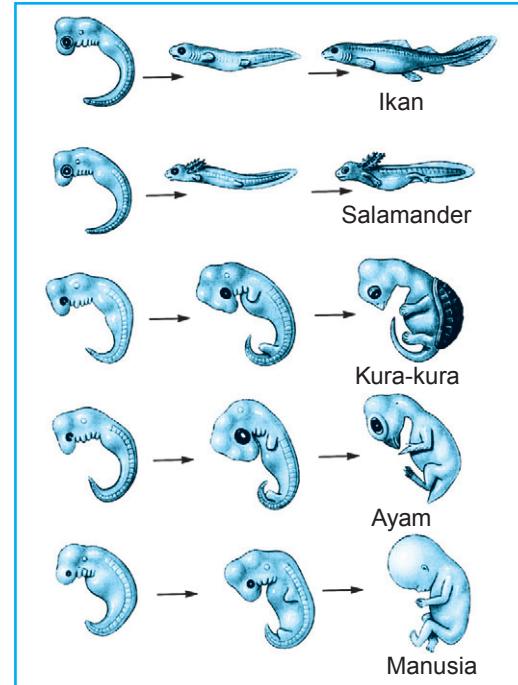
Penganut teori Evolusi mengadakan kajian embriologis pada beberapa makhluk hidup untuk merunut adanya hubungan kekerabatan antar spesies makhluk hidup. Jika teori Evolusi benar maka pada kajian embriologi akan terdapat tahap-tahap perkembangan embrio yang sama pada semua makhluk hidup.

Berkaitan dengan hal ini, pada akhir abad ke-19 seorang ahli biologi evolusionis, **Ernest Haeckel** mengemukakan **teori Rekapitulasi**. Teori ini menyatakan bahwa embrio-embrio mengulangi proses evolusi yang telah dialami nenek moyangnya. Menurut Haeckel selama masa perkembangan dalam rahim ibu, embrio manusia awalnya menunjukkan karakteristik ikan, kemudian karakteristik reptil, dan akhirnya karakteristik manusia seperti terlihat pada Gambar 7.16. Istilah rekapitulasi merupakan singkatan dari pernyataan *ontogeni merekapitulasi filogeni*. **Ontogeni** adalah tahap-tahap pertumbuhan dan perkembangan embrio, sedangkan **filogeni** adalah hubungan kekerabatan hewan menurut perjalanan evolusi (yang biasa digambarkan dalam bentuk diagram pohon beserta cabang-cabangnya).

### 4. Organ-Organ Peninggalan (Organ Vestigial)

Gagasan organ vestigial pertama kali dikemukakan seabad yang lalu. Pendapat itu menyatakan bahwa pada tubuh beberapa jenis makhluk hidup terdapat sejumlah organ-organ yang tidak fungsional. Organ-organ ini diwarisi dari nenek moyang mereka dan perlahan-lahan menjadi peninggalan karena tidak digunakan.

**R. Weidersheim**, seorang ahli anatomi berkebangsaan Jerman, pada tahun 1895 mencatat kira-kira ada 100 organ peninggalan pada tubuh makhluk hidup. Beberapa organ peninggalan yang dijumpai pada tubuh manusia misalnya otot penggerak telinga, usus buntu, dan tulang ekor.



Sumber: Biology, Raven & Johnson

**Gambar 7.16**

Perkembangan zigot beberapa kelas Vertebrata



### Tahukah Anda

#### Benarkah Usus Buntu Tidak Mempunyai Fungsi?

Banyak di antara kita yang belum mengetahui fungsi usus buntu. Perlu Anda ketahui bahwa sebenarnya usus buntu sangat penting fungsinya bagi tubuh kita.

Menurut laporan ilmiah bahwa organ-organ seperti kelenjar timus, hati, limpa, usus buntu, sumsum tulang, dan sejumlah jaringan limfatis seperti amandel dan lempeng Peyer pada usus kecil sangat penting bagi tubuh dalam memerangi infeksi.

Sumber: *The Merck Manual of Medical Information*, 1977



## Uji Kompetensi C

Jawablah soal-soal berikut.

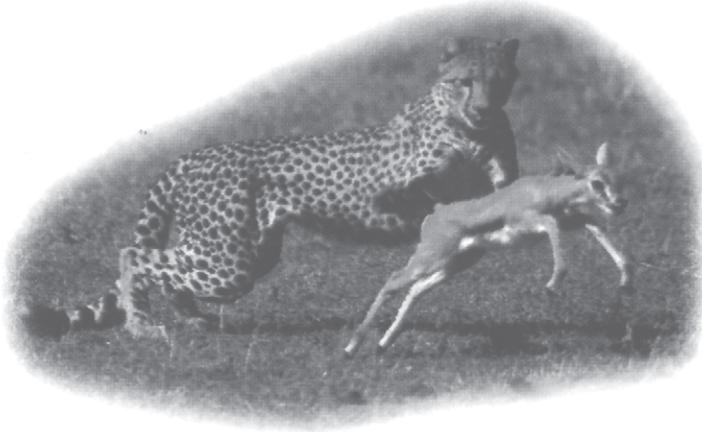
1. Bagaimana rekaman fosil dapat dijadikan petunjuk adanya evolusi?
2. Manakah yang lebih tua umurnya, fosil yang ditemukan pada lapisan muda atau lapisan tua? Mengapa demikian?
3. Apakah landasan berpikir Darwin tentang kemunculan hewan-hewan peralihan (transisi)?
4. Mengapa fosil kuda dianggap sebagai bukti evolusi paling baik? Jelaskan.
5. Bagaimana homologi organ dapat menjelaskan bahwa makhluk hidup mengalami evolusi?

## D. Mekanisme Evolusi

Anda tentu masih ingat kekaguman Darwin pada spesies burung finch di Kepulauan Galapagos. Pada saat itu, Darwin mengemukakan bahwa bervariasinya burung finch itu karena proses adaptasi. Spesies yang adaptif (berhasil melakukan adaptasi) akan tetap bertahan hidup dan akan mewariskan keunggulannya itu pada generasi berikutnya. Nah, dari sinilah muncul teori Evolusi. Bagaimanakah evolusi makhluk hidup itu terjadi? Faktor-faktor apa yang menyebabkan terjadinya evolusi? Marilah kita pelajari dalam materi berikut.

### 1. Seleksi Alam

Seleksi alam menyatakan bahwa makhluk hidup yang lebih mampu menyesuaikan diri (beradaptasi) dengan kondisi alam habitatnya akan mendominasi dengan cara memiliki keturunan yang mampu bertahan hidup. Sebaliknya, makhluk hidup yang tidak mampu beradaptasi akan punah. Sebagai contoh sekelompok rusa yang hidup di bawah ancaman hewan pemangsa (seperti macan, harimau, singa, dan citah), secara alamiah rusa-rusa yang mampu berlari kencang dapat bertahan hidup dan berketurunan. Sebaliknya, rusa yang lemah, sakit-sakitan, dan tidak dapat berlari kencang akan mati dan tidak melanjutkan keturunan.



Sumber: *Keruntuan Teori Evolusi*, Harun Yahya

Gambar 7.17

Siapa yang kuat, dia akan menang

Seleksi alam sebenarnya merupakan proses alamiah yang telah dikenal ahli biologi sebelum Darwin. Para ahli biologi waktu itu mendefinisikan seleksi alam sebagai mekanisme yang menjaga agar spesies tidak berubah tanpa menjadi rusak. Namun, Darwinlah orang pertama yang mengemukakan bahwa seleksi alam mempunyai kekuatan evolusi. Selanjutnya, Darwin mengemas teori Evolusi melalui seleksi alam dalam bukunya *The Origin of Species, by Means of Natural Selection* yang diterbitkan pada tahun 1859.

Darwin menyatakan bahwa seleksi alam merupakan faktor pendorong terjadinya evolusi. Pernyataannya itu didasarkan pada pengamatannya terhadap populasi alami dunia. Dia mengamati adanya beberapa kecenderungan berikut: jumlah keturunan yang terlalu besar (*over reproduction*), jumlah populasi yang selalu konstan (tetap), adanya faktor pembatas pertumbuhan populasi, dan perbedaan keberhasilan berkembang biak.

Setiap spesies mempunyai kemampuan untuk menghasilkan banyak keturunan setelah dewasa. Melalui proses reproduksi, populasi makhluk hidup dapat meningkat secara geometrik.

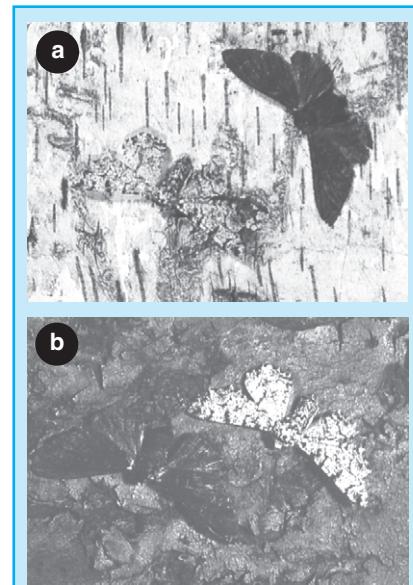
Setiap individu hasil perkawinan memungkinkan mempunyai variasi warna, bentuk, maupun kemampuan bertahan diri di lingkungan. Varian yang adaptif akan tetap hidup dan berkembang, tetapi spesies yang tidak adaptif akan punah.

Beberapa faktor pembatas di alam yang mempengaruhi populasi di antaranya adalah makanan, air, cahaya, tempat hidup, dan sebagainya. Akibatnya, makhluk hidup harus berkompetisi dengan makhluk hidup lain untuk mendapatkan sumber daya yang terbatas tersebut. Beberapa faktor pembatas lainnya yang cukup serius pengaruhnya terhadap pertumbuhan populasi yaitu predator, organisme penyebab penyakit, dan cuaca yang tidak menguntungkan.

Tingkat kesuksesan perkembangbiakan juga menentukan pertumbuhan populasi makhluk hidup dan merupakan kunci dalam seleksi alam. Makhluk hidup yang paling adaptif adalah individu yang berhasil dalam perkembangbiakan. Sebaliknya, yang tidak berhasil akan mati prematur atau menghasilkan sedikit keturunan.

Lebih jauh dalam bukunya itu, Darwin mengemukakan bahwa individu-individu yang beradaptasi pada habitat mereka dengan baik akan mewariskan sifat-sifat unggul kepada generasi berikutnya. Darwin menyatakan bahwa sifat-sifat unggul atau menguntungkan ini lama-lama terakumulasi dan mengubah suatu kelompok individu menjadi spesies yang sama sekali berbeda dengan nenek moyangnya. Berdasarkan proses inilah akan terbentuk spesies baru.

Suatu contoh proses seleksi alam paling terkenal pada masa itu adalah mengenai populasi ngengat (*Biston betularia*) selama revolusi industri di Inggris. Pada awal revolusi industri di Inggris, kulit batang pohon di sekitar Manchester berwarna cerah. Hal ini mengakibatkan ngengat (*Biston betularia*) berwarna cerah yang hinggap pada kulit batang tidak mudah tertangkap burung pemangsa. Itulah sebabnya pada awal revolusi industri, populasi ngengat berwarna cerah lebih banyak daripada ngengat



Sumber: Biology, Raven dan Johnson

#### Gambar 7.18

Contoh proses seleksi alam pada populasi *Biston betularia*

- Biston betularia* sebelum revolusi industri di Inggris
- Biston betularia* sesudah revolusi industri di Inggris

berwarna gelap. Keadaan itu berubah  $180^{\circ}$  setelah terjadi revolusi industri. Mengapa terjadi demikian?

Lima puluh tahun kemudian, kulit batang pohon menjadi lebih gelap akibat polusi udara. Keadaan itu sangat menguntungkan ngengat berwarna gelap karena saat hinggap di pohon tidak terlihat oleh burung pemangsanya. Sebaliknya, ngengat berwarna cerah mudah dilihat oleh burung pemangsa. Hal ini mengakibatkan populasi ngengat berwarna gelap lebih besar daripada ngengat berwarna cerah. Sekarang timbul pertanyaan: "Mungkinkah ngengat *Biston betularia* berwarna cerah berubah menjadi *Biston betularia* berwarna gelap?"

Lakukan Eksperimen berikut agar Anda lebih memahami mekanisme seleksi alam.



## Eksperimen

### Melakukan Praktik Simulasi Seleksi Alam

Siapkan kertas berwarna kuning, merah, dan hijau. Potonglah kertas warna kuning menjadi bentuk segitiga sebanyak 30 buah. Potonglah kertas warna merah menjadi bentuk lingkaran sebanyak 30 buah. Potonglah kertas warna hijau menjadi bentuk persegi sebanyak 30 buah.

Masukkan semua potongan kertas (sebanyak 90 buah) ke dalam sebuah kantong, kemudian kocoklah hingga bercampur rata. Sebarkan semua potongan kertas itu pada lapangan berumput. Mintalah kepada salah satu teman Anda untuk mengambil potongan kertas itu dalam waktu 1 menit. Catatlah hasil pengamatan Anda dalam tabel berikut.

No.	Nama Kelompok	Warna Kertas yang Terambil			Jumlah
		Merah	Kuning	Hijau	
1.	Pinguin				
2.	Lumba-lumba				
3.	Paus				
4.	Lobster				
5.	dst.				

### Pertanyaan

1. Warna kertas apakah yang paling sedikit terambil?
2. Apakah yang mempengaruhi kertas tersebut paling sedikit terambil, karena bentuknya ataukah warnanya? Jelaskan.

3. Warna kertas apakah yang paling banyak terambil?
4. Apakah yang mempengaruhi kertas tersebut paling banyak terambil, karena bentuknya ataukah warnanya? Jelaskan.

Buatlah laporan kegiatan dan presentasikan di kelas.

Berdasarkan hasil eksperimen di atas tampak bahwa seleksi alam berkaitan erat dengan adaptasi dan kelangsungan hidup organisme. Kertas berwarna hijau paling sedikit terambil pada habitat lapangan berumput. Hal ini dapat dikatakan bahwa kertas segitiga berwarna hijau paling adaptif sehingga secara alami akan bertahan hidup.

Kita telah melihat bahwa seleksi alam akan menghasilkan individu unggul dan mampu bertahan hidup. Mampukah seleksi alam menghasilkan spesies baru? Lakukan kegiatan berikut untuk mengetahui jawabannya.



## Forum Diskusi

Coba amati tanaman bunga pukul empat (*Mirabilis jalappa*) yang ada di sekitar Anda. Ada berapa macam warna bunga dalam spesies tersebut? Apakah variasi warna bunga tersebut dalam kurun waktu lama dapat berevolusi? Diskusikan bersama teman sekelompok Anda dan presentasikan hasilnya di depan kelas.

## 2. Mutasi Gen

Mutasi gen pernah Anda pelajari di Bab VI dalam buku ini. Coba Anda pahami kembali materi tersebut untuk memperkuat pemahaman Anda tentang salah satu mekanisme evolusi berikut.

Peristiwa mutasi gen dapat tidak menyebabkan perubahan pembentukan asam amino sehingga tidak menimbulkan efek yang berarti. Namun, jika mutasi gen menyebabkan perubahan pembentukan asam amino maka fungsi gen tersebut juga berubah. Perubahan fungsi ini dapat diamati melalui kelainan-kelainan yang terjadi pada individu yang mengalami mutasi.

Bagaimana peristiwa mutasi dapat menyebabkan terjadinya evolusi? Setiap sel makhluk hidup dapat mengalami mutasi setiap saat, tetapi tidak semua mutasi dapat diwariskan pada keturunannya. Mutasi yang terjadi pada sel soma (sel tubuh) tidak akan diwariskan. Setelah individu yang mengalami mutasi meninggal maka mutasi yang terjadi juga akan menghilang bersamanya. Sementara itu, mutasi yang terjadi pada sel-sel kelamin akan diwariskan pada keturunannya. Adanya bahan-bahan mutagen dalam gonad dapat menyebabkan terjadinya mutasi pada sel kelamin jantan (sperma) dan sel kelamin betina (ovum). Dengan demikian, gen yang bermutasi akan selalu ada dalam setiap sel keturunan.

Setiap spesies makhluk hidup memiliki sifat genotip dan fenotip (fisik) yang berbeda. Gen-gen yang menentukan fenotip individu tersimpan di kromosom dalam nukleus. Gen-gen sendiri tersusun dalam DNA (asam deoksiribonukleat). Sementara itu, DNA disusun oleh nukleotida yang terdiri dari basa nitrogen, gula deoksiribosa, dan fosfat. Perubahan yang terjadi pada susunan kimia DNA dapat mengakibatkan perubahan sifat individu. Perubahan ini disebut **mutasi gen**.

Sebagian besar mutasi bersifat merugikan karena mutasi dapat mengubah atau merusak posisi nukleotida-nukleotida yang menyusun DNA. Perubahan-perubahan akibat mutasi banyak menyebabkan kematian, cacat, dan abnormalitas, seperti yang dialami penduduk Hiroshima, Nagasaki, dan Chernobyl.

Kadang-kadang mutasi pada sel kelamin dapat mengakibatkan timbulnya sifat baru yang menguntungkan. Bila sifat baru tersebut dapat beradaptasi dengan lingkungannya maka individu tersebut akan terus hidup dan mewariskan mutasi yang dialaminya kepada keturunannya. Berdasarkan anggapan bahwa terdapat mutasi yang menguntungkan, muncullah teori Evolusi



## Tahukah Anda

### Mutasi Gen Akibat Reaksi Nuklir

Reaktor nuklir Chernobyl di Ukraina mengalami kebocoran pada tanggal 25 April 1989. Radiasi nuklir menyebar ke seluruh kawasan di Ukraina, tidak menutup kemungkinan meluas ke negara tetangga. Adanya kebocoran ini menyebabkan penduduk di daerah tersebut mengalami mutasi gen.



Sumber: Keruntuhan Teori Evolusi, Harun Yahya

Gambar 7.19

Korban radiasi nuklir Chernobyl

baru yaitu **Teori Evolusi Sintetis Modern**. Pada intinya teori ini memasukkan konsep mutasi pada teori Seleksi Alam Darwin. Oleh karena itu, teori ini juga dikenal sebagai **Neodarwinisme**. Teori ini berkembang pada 1930–1940.

Jika mutasi selalu terjadi pada sel kelamin dari generasi ke generasi dapat menyebabkan susunan gen dalam kromosom generasi pendahulu sangat berbeda dengan generasi berikutnya. Peristiwa itu memungkinkan timbulnya individu atau spesies baru yang sangat berbeda dengan generasi pendahulunya.

Menurut pendapat beberapa ilmuwan (evolusionis), perubahan pada struktur kromosom yang bersifat menguntungkan akan mengakibatkan munculnya spesies baru. Kemunculan spesies baru yang lebih baik ini tergantung dari angka laju mutasi. **Angka laju mutasi** adalah angka yang menunjukkan jumlah gen yang bermutasi yang dihasilkan oleh suatu individu dari suatu spesies. Besarnya angka laju mutasi sebuah alel gen sebesar 1–10 untuk setiap 100.000 pembelahan sel.

### 3. Frekuensi Gen dalam Populasi

**Frekuensi gen** adalah frekuensi kehadiran suatu gen pada suatu populasi dalam hubungannya dengan frekuensi semua alelnya. Dalam genetika, populasi berarti kelompok organisme yang dapat saling kawin dan menghasilkan keturunan yang fertil. Misalnya dalam suatu populasi terdapat gen dominan (A) dengan alel gen resesif a. Perkawinan antara induk galur murni AA dengan aa, menghasilkan keturunan  $F_1$  dengan genotip Aa. Pada keturunan  $F_2$  menghasilkan perbandingan genotip atau keseimbangan frekuensi gen dalam populasi ( $F_2$ ) = AA (homozigot dominan) : Aa (heterozigot) : aa (homozigot resesif) = 25% : 50% : 25% atau 1 : 2 : 1. Pada keturunan berikutnya ( $F_3$ ) ternyata menghasilkan perbandingan genotip seperti keturunan  $F_2$ , yaitu AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1. Jadi, apabila setiap individu dari berbagai kesempatan melakukan perkawinan yang sama, yang berlangsung secara acak serta setiap genotip mempunyai viabilitas yang sama, perbandingan antara genotip yang satu dengan yang lainnya dari generasi ke generasi tetap sama.

Perbandingan frekuensi gen dapat mengalami perubahan sehingga perbandingan frekuensi gen tidak dalam keadaan seimbang. Perubahan perbandingan frekuensi gen di dalam suatu populasi dapat disebabkan oleh mutasi, seleksi alam, emigrasi dan imigrasi, rekombinasi dan seleksi, isolasi reproduksi, dan domestikasi.

Variasi genetik dalam populasi alamiah sempat membingungkan Darwin. Hal ini terjadi karena reproduksi sel belum dikenal. Akan tetapi, pada tahun 1908 kebingungan itu terjawab oleh **G.H. Hardy** seorang matematikawan Inggris dan **G. Weinberg** seorang fisikawan Jerman. Hardy dan Wienberg menyatakan bahwa *dalam populasi besar di mana perkawinan*

terjadi secara random dan tidak adanya kekuatan yang mengubah perbandingan alela dalam lokus, perbandingan genotip alami selalu konstan dari generasi ke generasi. Pernyataan tersebut dikenal dengan **hukum Perbandingan Hardy-Weinberg**.

Adanya perubahan keseimbangan frekuensi gen dalam suatu populasi memberi petunjuk adanya evolusi.

Hukum Hardy-Weinberg berlaku jika memenuhi beberapa persyaratan berikut.

- Tidak terjadi mutasi.
- Terjadi perkawinan secara acak.
- Tidak terjadi aliran gen baik imigrasi maupun emigrasi.
- Populasi cukup besar.
- Tidak ada seleksi alam

Secara matematis hukum Hardy-Weinberg dirumuskan sebagai berikut.

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

Sebagai contoh alela gen A dan a, maka menurut persamaan di atas:

$p^2$  = frekuensi individu homozigot AA

$2pq$  = frekuensi individu heterozigot Aa

$q^2$  = frekuensi individu homozigot aa

Bagaimana penerapan persamaan tersebut dalam menjawab permasalahan genetika populasi? Perhatikan contoh berikut.

Misalkan dalam sebuah desa terdapat populasi 100 orang, 84% penduduk lidahnya dapat menggulung dan 16% lidahnya tidak dapat menggulung. Tentukan berapa jumlah penduduk yang heterozigot dan homozigot jika genotip penduduk yang lidahnya dapat menggulung Rr atau RR dan lidah yang tidak dapat menggulung bergenotip rr.

**Penyelesaian:**

$RR = p^2$ ,  $Rr = 2pq$ , dan  $rr = q^2$

Frekuensi gen r

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

$$r^2 = q^2 = 16\% = 0,16$$

$$q = \sqrt{0,16} = 0,4$$

Oleh karena frekuensi untuk seluruh alela harus 1, maka  $p + q = 1$  sehingga frekuensi alela dominan (p) dapat dihitung:

$$p = 1 - 0,4 = 0,6 \rightarrow p^2 = 0,36$$

$$\text{Selanjutnya } 2pq = 2 \times 0,6 \times 0,4 = 0,48$$

Jadi, perbandingan antara genotip dominan homozigot (RR), heterozigot (Rr), dan resesif homozigot (rr) adalah 36 : 48 : 16, sedangkan frekuensi gen R = 0,6 dan gen r = 0,4.



## Tugas Mandiri

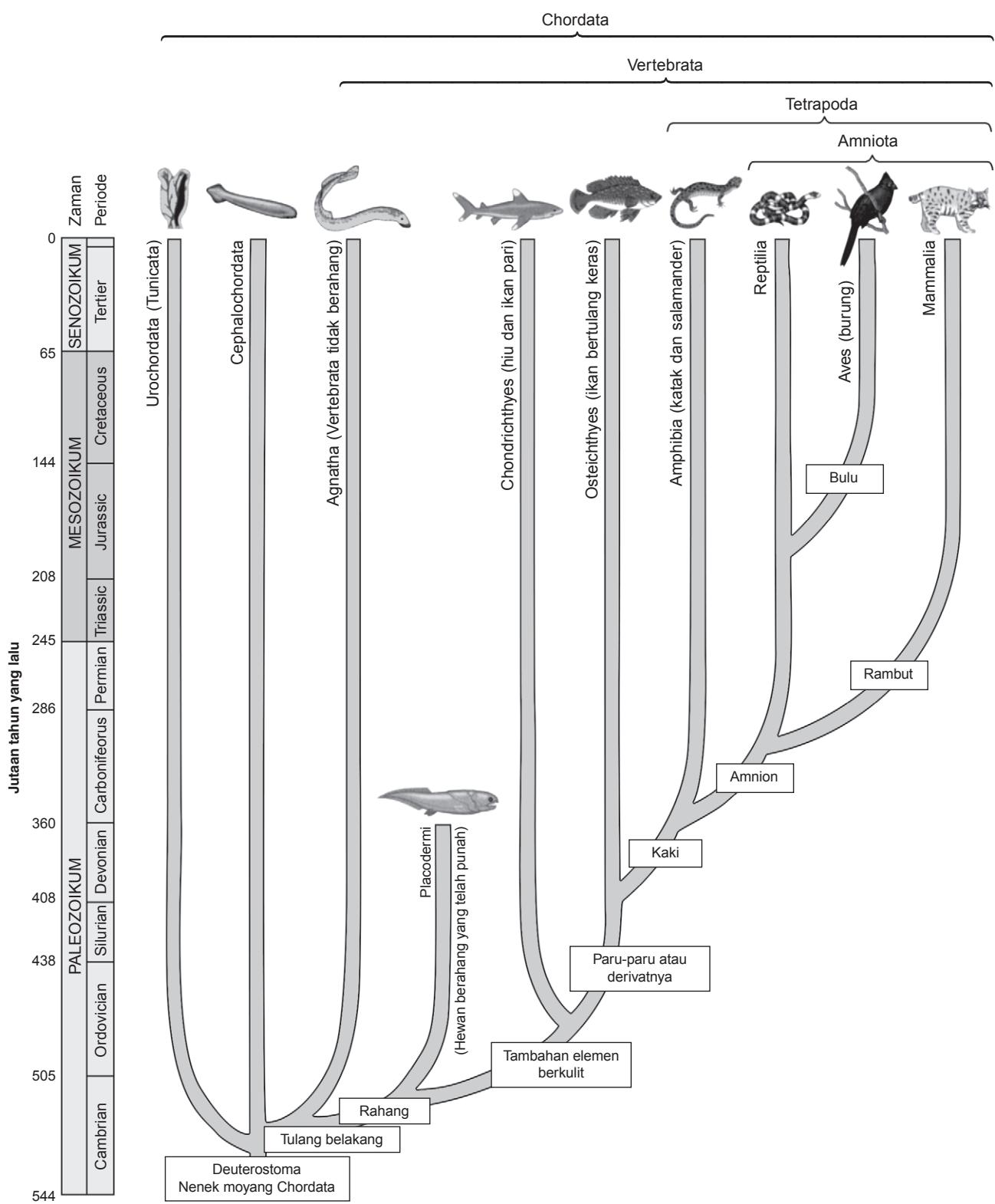
Tentukan berapa orang yang diharapkan pengecap (*taster*) homozigot dari 1.000 orang yang melakukan tes *Phenylthiocarbamida* (PTC) bila diperoleh 40 orang buta kecap (*nontaster*).

### 4. Hubungan Waktu dengan Perubahan Sifat Organisme

Di depan telah dijelaskan bahwa evolusi terjadi melalui beberapa mekanisme, yaitu seleksi alam dan mutasi gen. Menurut teori Evolusi, pada awalnya makhluk hidup tercipta tidak sempurna atau dalam kondisi primitif. Seiring dengan berjalannya waktu, makhluk hidup purba itu mengalami kemajuan-kemajuan. Kemajuan-kemajuan itu diperoleh karena adanya variasi genetik dalam populasinya. Variasi itu diperoleh melalui proses perkawinan. Individu-individu yang kebetulan mewarisi sifat unggul dari induknya akan tetap hidup dan dapat melangsungkan kehidupannya. Sebaliknya, individu yang tidak mewarisi sifat unggul akan tersisih dalam persaingan. Akibat paling parah dari individu ini akan mati dan akhirnya punah. Hal ini menunjukkan bahwa faktor seleksi alam sangat menentukan keberlangsungan hidup suatu individu.

Umur bumi diperkirakan hingga saat ini berkisar 5.000-an juta tahun. Selama itu pula di muka bumi terjadi perkembangan berbagai populasi dari berbagai jenis makhluk hidup. Berbagai jenis makhluk hidup itu diperkirakan berasal dari satu individu sebagai nenek moyang. Melalui proses evolusi, suatu populasi mengalami perubahan sifat (misalnya variasi genetik dan mutasi) sehingga dicapai bentuk makhluk hidup seperti sekarang.

Bagaimana hubungan antara waktu dengan perubahan sifat organisme? Marilah kita pelajari perkembangan Chordata melalui diagram pohon evolusi berikut (di sini kita ambil contoh proses evolusi pada Chordata).



Sumber: Biology, Campbell

Gambar 7.20

Diagram filogeni Chordata

Berdasarkan Gambar 7.20 di depan tampak bahwa Deuterostoma merupakan nenek moyang Chordata yang diperkirakan muncul pada periode Cambrian di zaman Paleozoikum (544 juta tahun yang lalu). Seperti telah Anda pelajari di kelas X, bahwa filum Chordata memiliki ciri khas adanya notochord atau chorda dorsalis yang memanjang di sepanjang tubuh sebagai sumbu tubuhnya. Diperkirakan, pada awalnya Deuterostoma berkembang menjadi Urochordata, Cephalochordata, Agnatha, dan Placodermi (sekarang telah punah). Perkembangan ini terjadi pada periode Cambrian dari tahun 544 sampai 505 juta tahun yang lalu. Bahkan Urochordata tidak mengalami perkembangan sejak zaman Cambrian hingga saat ini.

Pada periode Ordovician masih di era Paleozoikum, garis perkembangan Chordata bercabang menjadi dua yaitu menjadi ikan bertulang rawan (Chondrichthyes) dan ikan bertulang sejati (Osteichthyes). Perubahan sifat yang mencolok pada kedua kelompok ini adalah adanya insang atau derivat insang pada Osteichthyes. Selanjutnya, pada akhir periode Silurian (438–408 juta tahun yang lalu), muncul kelompok hewan yang mempunyai kaki yaitu kelompok Reptilia. Kelompok ini berkembang dari garis ikan bertulang sejati (Osteichthyes). Pada akhir periode Carboniferous dari garis Amphibia muncul hewan berambut yaitu kelompok Mammalia. Masih dari garis Mammalia, pada periode Jurassic muncul kelompok baru hewan berbulu yaitu Aves.

Hewan-hewan yang kita temui pada masa lampau (purga), tentu saja berbeda dengan hewan-hewan yang kita jumpai sekarang, walaupun hewan-hewan itu berasal dari kelompok yang sama. Perhatikan beberapa rekonstruksi hewan-hewan Reptilia yang diperkirakan hidup pada periode Jurassic. Bandingkan hewan-hewan tersebut dengan hewan-hewan modern. Bagaimana pendapat Anda?



Brachiosaurus



Reptilia laut



Cetophysis



Tyrannosaurus (Tyrex)



Iguanodon

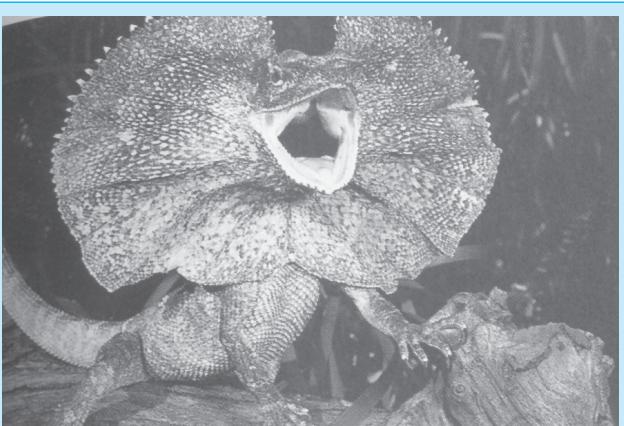


Raptor

Sumber: Discovery Channel TV Asahi Co-Production in Association With Prosieben and France 3, 2001

**Gambar 7.21**

Beberapa spesies Reptilia purba (rekaan)



Kadal



Komodo

Sumber: Ensiklopedi Indonesia Seri Fauna: Reptilia dan Amfibia, Redaksi Ensiklopedi Indonesia

**Gambar 7.22**

Beberapa spesies Reptilia modern

Jadi, selama penciptaan makhluk hidup di bumi telah terjadi proses evolusi dalam waktu yang lama. Proses itu menyebabkan terbentuknya spesies-spesies baru yang berbeda sama sekali dengan nenek moyangnya, seperti yang kita lihat pada saat ini.

Diagram filogeni Chordata (lihat halaman sebelumnya) belum menampakkan adanya spesies manusia, padahal manusia tersebar di seluruh dunia sebagaimana hewan dan tumbuhan. Bagaimanakah spesies manusia muncul? Manusia diperkirakan baru muncul sekitar 10 juta tahun yang lalu. Nenek moyang manusia diduga merupakan kelompok Primata yang muncul sekitar 60 juta tahun yang lalu. Perhatikan diagram filogeni Primata berikut.

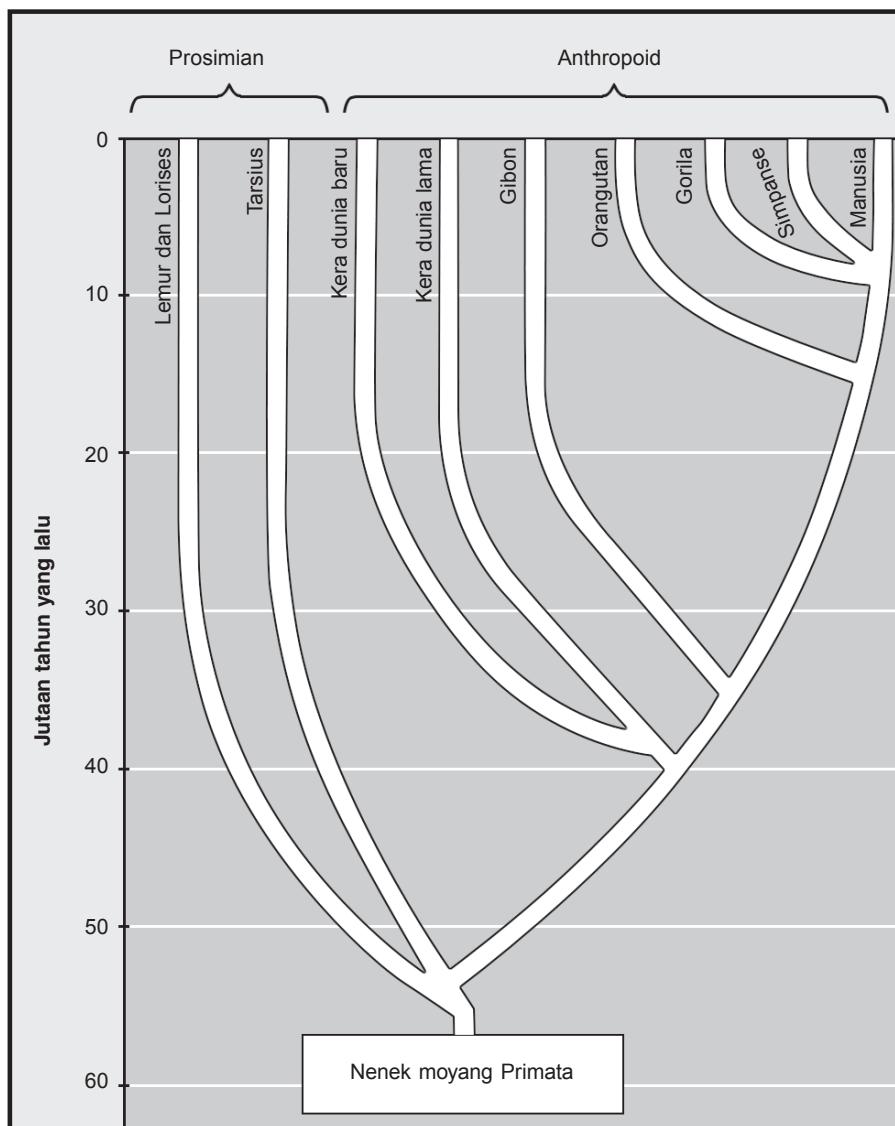
### Tahukah Anda

#### Klasifikasi Primata

Ordo Primata dibedakan menjadi 13 familia berikut.

1. Cheirogaleidae
2. Lemuridae (lemur)
3. Indriidae
4. Daubentonidae
5. Lorisidae
6. Galagidae
7. Tarsiidae (Tarsius)
8. Callitrichidae
9. Cebidae (kera dunia baru)
10. Cercopithecidae (kera dunia lama)
11. Hylobatidae (gibon)
12. Pongidae (orang utan)
13. Hominidae (gorila, simpanse, dan manusia)

Sumber: *Biology*, Solomon



Sumber: *Biology*, Campbell

**Gambar 7.23**

Diagram filogeni Primata

Berdasarkan gambar di atas, spesies manusia berada satu garis dengan kemunculan orangutan sekitar 15 juta tahun yang lalu. Selanjutnya, sekitar 10 juta tahun yang lalu garis orang utan bercabang menjadi tiga yaitu kelompok gorila, simpanse, dan

manusia. Perlu diketahui bahwa gorila, simpanse, dan manusia dikelompokkan dalam satu familia yaitu Hominidae. Kapan sebenarnya spesies manusia mulai muncul?

Para ilmuwan mencoba mencari jawaban atas pertanyaan tersebut melalui penggalian fosil dan analisis terhadap fosil-fosil yang ditemukan. Fosil-fosil yang ditemukan dari beberapa lokasi penggalian diduga berasal dari salah satu anggota Primata yaitu dari familia Hominidae. Berikut merupakan tabel penemuan fosil-fosil yang diduga merupakan nenek moyang manusia.



### Tahukah Anda

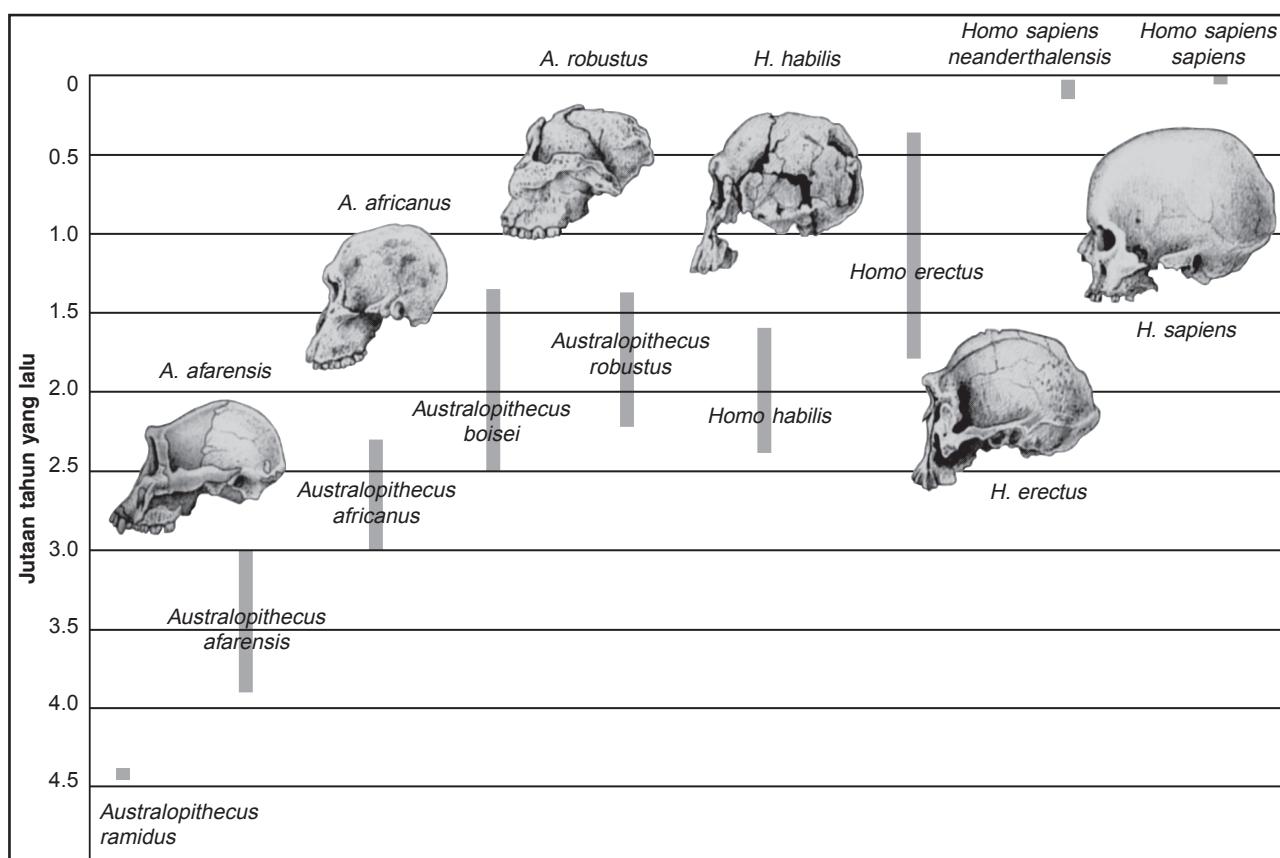
**Siapakah Nenek Moyang Bangsa Indonesia?**

Berdasarkan ciri-ciri fisik bangsa Indonesia, diperkirakan hasil pewarisan dari bangsa Australomelanesid. Bangsa ini keturunan dari *Homo wajakensis*.

**Tabel 7.3 Penemuan Fosil yang Diduga Anggota Familia Homidae**

No.	Nama Fosil	Umur/Rentang Hidup	Tinggi Tubuh	Lokasi Penemuan
1.	<i>Australopithecus ramidus</i>	4,4 juta tahun	1,30 – 1,55 m	Ethiopia
2.	<i>Australopithecus afarensis</i>	3,18 juta tahun	1,05 – 1,50 m	Ethiopia
3.	<i>Australopithecus africanus</i>	3 juta tahun	1,14 – 1,32 m	Afrika Selatan
4.	<i>Australopithecus boisei</i>	2,5 – 1,7 juta tahun		Afrika
5.	<i>Australopithecus robustus</i>	2,2 – 1,6 juta tahun		Afrika
6.	<i>Homo habilis</i>	2,5 – 1,4 juta tahun	1,17 – 1,32 m	Afrika
7.	<i>Homo erectus</i>	1,8 – 300 ribu tahun	1,60 – 1,78 m	Afrika, Asia, Eropa
8.	<i>Homo sapiens neanderthalensis</i>	120 – 35 ribu tahun	1,55 – 1,65 m	Eropa, Asia Tengah
9.	<i>Homo sapien cro-magnon</i>	30 ribu tahun	1,60 – 1,75 m	Prancis

Berdasarkan tabel tersebut dapat dibuat suatu *timeline* seperti berikut.



Sumber: Biology, Campbell

**Gambar 7.24**

Timeline beberapa spesies anggota Hominidae



## Tahukah Anda

### Manusia Purba Indonesia Turut Mengalami Evolusi

*Meganthropus palaeojavanicus* merupakan manusia berukuran besar yang hidup di Jawa pada zaman kuno. *Meganthropus* mempunyai ciri berahang besar dan bergigi.

Pakar Palaeontropologi, Prof. Dr. Teuku Jacob berpendapat bahwa *Meganthropus* melakukan evolusi adaptasi agar bisa tetap hidup di lingkungannya.

Berdasarkan hasil penelitian, fosil manusia dapat dibedakan menjadi dua, yaitu manusia primitif dan manusia modern. Fosil *Australopithecus* sp. dan *Homo erectus* merupakan jenis manusia primitif, sedangkan *Homo sapiens* merupakan jenis manusia modern. Manusia modern merupakan hasil evolusi dari manusia primitif, sedangkan manusia primitif sendiri merupakan hasil evolusi dari simpanse. Manusia primitif umumnya mempunyai ciri-ciri berjalan menggunakan empat kaki, (kecuali *Homo erectus* yang mulai berjalan tegak menggunakan dua kaki), tengkorak lebih menyerupai kera, volume otak kecil (500–1.100 cc), dan belum mampu berbicara. Sementara itu, manusia modern sudah berjalan dengan dua kaki (*bipedal*), volume otak lebih besar (>1.200 cc), dapat berbicara, dan memiliki seni dan budaya.

Anda telah mempelajari teori Evolusi, bagaimana pendapat Anda? Sekarang, cobalah Anda mengumpulkan pendapat dari teman-teman Anda melalui kegiatan berikut.



## Tugas Mandiri

Buatlah angket untuk memperoleh tanggapan dari teman Anda tentang teori Evolusi. Contoh angket dapat dibuat seperti berikut.

1. Dari mana Anda mengenal teori Evolusi?
  - a. Sekolah
  - b. Buku-buku ilmu pengetahuan
  - c. Internet
2. Bagaimana pandangan Anda tentang Charles Darwin?
  - a. Seorang yang jenius
  - b. Seorang ilmuwan amatiran
  - c. Orang yang senang biologi
3. Penemuan fosil membuktikan bahwa suatu makhluk hidup pernah ada.  
Pendapat Anda:
  - a. Ya
  - b. Ragu-ragu
  - c. Tidak
4. Hasil penemuan fosil menunjukkan bahwa tiap zaman geologi dihuni makhluk hidup yang berbeda.  
Pendapat Anda:
  - a. Ya
  - b. Ragu-ragu
  - c. Tidak
5. Berdasarkan penemuan fosil, makhluk hidup mengalami perkembangan dari sederhana (primitif) menuju kompleks (maju).  
Pendapat Anda:
  - a. Ya
  - b. Ragu-ragu
  - c. Tidak

6. Berdasarkan penemuan fosil, makhluk hidup sejenis yang hidup saat ini berbeda dengan makhluk hidup sejenis yang hidup pada zaman dahulu.

Pendapat Anda:

- a. Ya
- b. Ragu-ragu
- c. Tidak

7. Di sekitar kita banyak variasi ayam: ayam kedu, ayam pelung, ayam cemani, ayam bangkok, ayam kate, dan lain-lain. Variasi itu merupakan hasil mutasi genetik. Hal ini berarti telah terjadi evolusi pada jenis ayam.

Pendapat Anda:

- a. Ya
- b. Ragu-ragu
- c. Tidak

8. Hewan yang hidup di masa lampau berukuran lebih besar daripada hewan sejenisnya. Perubahan bentuk tubuh ini merupakan hasil evolusi.

Pendapat Anda:

- a. Ya
- b. Ragu-ragu
- c. Tidak

9. Makhluk hidup yang hidup saat ini merupakan hasil evolusi dari makhluk hidup sejenis yang pernah hidup pada masa lampau.

Pendapat Anda:

- a. Ya
- b. Ragu-ragu
- c. Tidak

10. Jika terbukti terdapat banyak persamaan (fisiologi, biokimia, dan morfologi) antara manusia dengan simpanse, dapatkah dikatakan bahwa gorila mengalami evolusi menjadi manusia?

Pendapat Anda:

- a. Ya
- b. Ragu-ragu
- c. Tidak

11. Apakah Anda setuju bahwa makhluk hidup terjadi secara kebetulan?

Pendapat Anda:

- a. Ya
- b. Ragu-ragu
- c. Tidak

12. Bagaimana tanggapan Anda tentang teori Evolusi?

---

---

---

**Catatan:** Pertanyaan-pertanyaan dalam kuisioner di atas dapat Anda tambah atau kurangi sesuai tujuan Anda.



## Eksperimen Plus

### Membedah Buku Keruntuhan Evolusi, Harun Yahya

Saat ini, telah banyak beredar buku tentang keruntuhan evolusi yang disusun oleh Harun Yahya. Coba bedahlah buku tersebut dengan membuat rangkuman dari setiap babnya secara berkelompok. Setelah itu diskusikan dengan teman-teman sekelas Anda.

#### Pertanyaan:

- Menurut Anda, apa dasar Harun Yahya menuliskan buku tersebut?
- Setelah membaca buku tersebut dan membandingkan dengan teori evolusi, menurut Anda apakah teori evolusi betul-betul salah?
- Menurut Anda, apa manfaat ditemukannya teori evolusi bagi kehidupan saat ini?

Kini Anda telah memahami teori dan mekanisme evolusi. Memang, evolusi ini masih dalam taraf teori belum mencapai sebuah ilmu. Hal ini karena pembahasan evolusi belum disertai data-data empiris akan tetapi hanya berupa bukti-bukti, sebagai contoh fosil. Walaupun begitu, kita patut menghargainya karena teori-teori tersebut disusun berdasarkan metode ilmiah.

Kecenderungan saat ini, evolusi terjadi bukan pada tingkat individu seperti yang dikemukakan Darwin. Akan tetapi berlangsung pada tingkat kromosom bahkan gen. Mekanismenya dikenal dengan mutasi. Pada saat ini prinsip mutasi telah banyak dikembangkan di berbagai bidang, di antaranya kedokteran dan pertanian. Sebagai contoh semangka tanpa biji merupakan hasil rekayasa mutasi oleh manusia. Mutasi ini dilakukan pada tingkat kromosom. Agar Anda memahami lebih lanjut mengenai kecenderungan evolusi pada saat ini beserta penerapannya, coba ulas kembali Bab VI tentang Mutasi pada buku ini.



## Uji Kompetensi D

Jawablah soal-soal berikut.

- Mengapa Darwin beranggapan bahwa seleksi alam dapat menyebabkan terjadinya evolusi?
- Menurut anggapan Darwin, mutasi yang menguntungkan akan menghasilkan spesies baru yang adaptif. Bagaimana pendapat Anda?
- Apakah hukum Hardy-Weinberg tetap berlaku jika dalam populasi yang cukup besar tidak terjadi mutasi, seleksi alam, dan perkawinan secara acak? Mengapa demikian?

- Dari populasi 1.000 ayam bangkok, terdapat 64 ekor tidak bertaji. Berapakah jumlah ayam yang bertaji dengan genotip heterozigot dan yang bergenotif homozigot. (Catatan: gen kaki bertaji lebih dominan terhadap gen kaki tidak bertaji)
- Jelaskan hipotesis tentang munculnya spesies manusia (*Homo sapiens*).



## Rangkuman

- Evolusi adalah perubahan struktur tubuh makhluk hidup yang berlangsung secara perlahan-lahan dalam waktu sangat lama.
- Fenomena burung finch dan kura-kura Galapagos menimbulkan gagasan Darwin untuk mengemukakan teori Evolusi.
- Ilmuwan yang mengilhami teori Evolusi Darwin:
  - Charles Lyell dengan bukunya *Principles of Geology*  
Sumbangan teori: Variasi karena pengaruh alam

- Thomas Malthus dengan bukunya *The Principles of Population*  
Sumbangan teori: Seleksi alam karena ketersediaan pangan
- Prinsip pokok teori Evolusi Darwin
  - Spesies yang berkembang sekarang berasal dari spesies-spesies yang hidup pada masa lampau
  - Evolusi terjadi melalui seleksi alam
- Bukti-bukti evolusi
  - Rekaman fosil  
Perubahan bentuk fosil disesuaikan dengan lapisan bumi yang lebih muda

- b. Homologi  
Semakin banyak kemiripan organ (homolog) antara spesies semakin dekat hubungan kekerabatan di antara spesies tersebut.
- c. Embriologi perbandingan  
Embrio-embrio mengulangi proses evolusi yang telah dialami nenek moyangnya
- d. Organ vestigial  
Pada beberapa jenis makhluk hidup terdapat organ-organ yang tidak fungsional, yang merupakan peninggalan dari nenek moyangnya
6. Mekanisme evolusi
- Seleksi alam  
Makhluk hidup yang mampu beradaptasi akan mampu bertahan hidup
  - Mutasi gen  
Perubahan susunan DNA dapat menimbulkan sifat baru
  - Frekuensi gen dalam populasi  
Perbandingan frekuensi gen dapat mengalami perubahan. Adanya perubahan keseimbangan frekuensi gen dalam populasi menunjukkan adanya evolusi
  - Hubungan antara waktu dengan perubahan sifat organisme  
Selama penciptaan makhluk hidup telah terjadi proses evolusi dalam waktu yang lama. Proses tersebut menyebabkan terbentuknya spesies-spesies baru
7. Rumus hukum Hardy-Weinberg  
 $(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 = 1$   
Syarat berlakunya hukum Hardy-Weinberg
- tidak terjadi mutasi
  - perkawinan secara acak
  - tidak terjadi aliran gen
  - populasi cukup besar
  - tidak ada seleksi alam
8. Teori Asal Usul Kehidupan
- Teori Abiogenesis  
Makhluk hidup berasal dari benda tidak hidup  
Tokoh pendukung: Aristoteles, Nedham
  - Teori Biogenesis  
Makhluk hidup berasal dari makhluk hidup  
Tokoh pendukung: Francesco Redi, Lazzaro Spallanzani, dan Louis Pasteur
  - Teori Cosmoczoic  
Makhluk hidup bumi berasal dari spora kehidupan yang berasal dari luar angkasa
  - Teori Penciptaan  
Makhluk hidup diciptakan oleh Tuhan
  - Teori Evolusi Biokimia  
Asal mula kehidupan terjadi bersamaan dengan evolusi terbentuknya bumi dan atmosfer  
Tokoh pendukung: Alexander Oparin, Harold Urey, Stanley Miller
  - Teori Evolusi Biologi  
Makhluk hidup tersusun dari zat organik (asam amino) yang berasal dari lautan



## Evaluasi

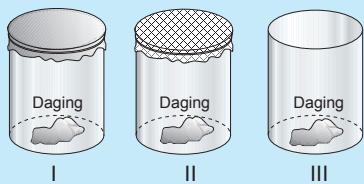
A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.

- Pernyataan yang mendukung teori Evolusi karena seleksi alam yaitu ...
  - Beberapa jenis bebek mempunyai kaki berselaput sehingga mudah untuk berenang.
  - Burung yang hidup di pinggir kolam mempunyai kaki dan leher panjang sehingga dapat menangkap ikan.
  - Jerapah semula berleher pendek karena kebiasaan menjangkau cabang yang tinggi menyebabkan lehernya bertambah panjang.
  - Ular tidak berkaki disebabkan kebiasaan ular hidup merayap di tanah.
- Perkembangan industri menyebabkan punahnya kupu-kupu berwarna cerah dan meningkatnya populasi kupu-kupu berwarna gelap.
- Migrasi burung finch dari daratan Amerika Selatan menuju ke Kepulauan Galapagos menghasilkan beraneka ragam burung finch. Hal ini disebabkan di Kepulauan Galapagos mempunyai ....
  - iklim dan lingkungan yang sama
  - iklim yang terus-menerus berubah
  - iklim dan lingkungan yang berbeda
  - iklim berbeda, tetapi lingkungan sama
  - iklim sama, tetapi lingkungan berbeda

3. Bentuk paruh dan kaki pada bangsa burung dapat dipakai untuk menentukan ....
- cara mempertahankan diri dari pemangsa
  - jarak jelajah dan jenis makanan
  - jenis makanan dan habitat
  - cara mencengkeram mangsa dan habitat
  - habitat dan jarak jelajah
4. Pernyataan di bawah ini yang sesuai dengan teori Evolusi Darwin adalah ....
- Kompetisi di antara individu dari suatu spesies dapat mengakibatkan variasi keturunan.
  - Kehidupan dari suatu spesies selalu dipengaruhi oleh karakteristik fenotip.
  - Organisme yang dapat beradaptasi dengan baik terhadap lingkungannya akan selalu sukses dalam reproduksinya.
  - Seleksi alam akan menyebabkan variasi.
  - Keanekaragaman makhluk hidup dipengaruhi oleh materi genetik.
5. Makhluk hidup itu hadir sesaat dan lenyap oleh malapetaka kemudian tercipta lagi makhluk hidup yang lain. Teori kehidupan itu dikemukakan oleh ....
- Alfred R. Wallace
  - August Weismann
  - George Cuvier
  - Erasmus Darwin
  - Thomas H. Huxley
6. Ilmuwan yang mengemukakan paham "digunakan dan tidak digunakan" dalam teori Evolusinya adalah ....
- Erasmus Darwin
  - Count de Buffon
  - J.B. Lamarck
  - Charles Darwin
  - Alfred Wallace
7. Makhluk hidup yang terdapat di lapisan bumi yang tua mengadakan perubahan bentuk sesuai dengan lapisan bumi yang lebih muda. Pernyataan tersebut merupakan pendapat ....
- Lamarck
  - George Cuvier
  - Alfred Wallace
  - Leonardo da Vinci
  - Charles Robert Darwin
8. Ciri-ciri evolusi yang ditandai dengan adaptasi terhadap lingkungan antara lain ....
- a. organisme penghuni gua dan laut dalam mempunyai indra penglihat yang tajam
- b. semua jenis unggas yang tinggal di dekat air dapat terbang dan berenang
- c. kelelawar mempunyai sistem sonar untuk terbang pada malam hari yang gelap
- d. semua jenis ikan mempunyai sisik yang terdiri dari bahan tulang
- e. semua anggota mamalia mempunyai gigi taring yang tajam perobek daging
9. Perhatikan beberapa pernyataan yang mendukung teori Evolusi.
- Tikus berekor panjang dipotong ekornya beberapa generasi ekornya tetap panjang.
  - Perubahan suatu organisme disebabkan adanya perubahan faktor dalam yang menurun.
  - Mutasi merupakan salah satu mekanisme dalam evolusi.
  - Proses evolusi merupakan perubahan yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan.
  - Jerapah berleher pendek menjadi jerapah berleher panjang.
- Pernyataan yang mendukung teori Evolusi Lamarck adalah ....
- 1) dan 2)
  - 3) dan 5)
  - 1) dan 4)
  - 4) dan 5)
  - 2) dan 3)
10. Pernyataan berikut ini yang sesuai dengan teori Lamarck adalah ...
- Seleksi terhadap tumbuhan maupun hewan merupakan cara untuk memperoleh bibit unggul.
  - Adaptasi merupakan salah satu mekanisme seleksi alam.
  - Radiasi merupakan salah satu penyebab terjadinya mutasi.
  - Evolusi adalah gejala seleksi alam terhadap faktor genetik.
  - Sifat bawaan suatu individu dipengaruhi langsung oleh keadaan lingkungan.
11. Perbandingan populasi *Biston betularia* sebelum terjadi revolusi industri di Inggris adalah ....
- hanya tinggal yang bersayap cerah, yang bersayap gelap mati semua
  - populasi yang bersayap gelap maupun yang bersayap cerah sama
  - jumlah yang bersayap cerah lebih banyak daripada yang bersayap gelap

- d. jumlah yang bersayap gelap lebih banyak daripada yang bersayap pendek  
e. jumlah yang bersayap cerah lebih sedikit daripada yang bersayap gelap
12. Populasi *Biston betularia* sesudah revolusi industri . . .  
a. yang bersayap cerah populasinya lebih besar daripada yang bersayap gelap  
b. yang bersayap gelap populasinya tetap  
c. yang bersayap gelap populasinya lebih kecil dibanding yang bersayap cerah  
d. yang bersayap cerah populasinya tetap  
e. yang bersayap cerah populasinya lebih kecil daripada yang bersayap gelap
13. Evolusi dapat dibuktikan dengan adanya peninggalan fosil-fosil makhluk purba. Fosil yang lengkap dan ditemukan pada setiap zaman geologi yaitu . . .  
a. kuda d. harimau  
b. kera e. dinosaurus  
c. gajah
14. Keistimewaan fosil kuda dibandingkan fosil-fosil lainnya yaitu . . .  
a. pada setiap zaman geologi ditemukan fosil secara lengkap  
b. ditemukan dari zaman Eosen sampai zaman Pleistosin  
c. menunjukkan adanya perubahan ukuran tubuh  
d. terjadi pengurangan jumlah jari kaki depan dari 5 menjadi 1 jari  
e. perubahan permukaan gigi geraham dari datar menjadi bergelombang
15. Fosil kuda ditemukan dengan ciri-ciri tinggi ± 28 cm, berleher pendek, kaki depan mempunyai 4 jari, dan kaki belakang mempunyai 5 jari. Fosil kuda tersebut termasuk dalam genus . . .  
a. Pliohippus d. Eohippus  
b. Equus e. Parahippus  
c. Mesohippus
16. Ada beberapa pasangan organ tubuh.  
1) Sayap burung dan tangan manusia.  
2) Sayap kelelawar dan sayap burung.  
3) Sayap kupu-kupu dan sayap burung.  
4) Sayap kupu-kupu dan tangan manusia.  
5) Kaki depan buaya dan sirip pada ikan paus.  
Pasangan organ tubuh yang termasuk organ homolog yaitu . . .
- a. 1) dan 2) d. 2) dan 4)  
b. 1) dan 5) e. 3) dan 5)  
c. 2) dan 3)
17. Organ-organ tubuh manusia yang digunakan sebagai bukti adanya evolusi adalah . . .  
a. tulang ekor dan umbai cacing  
b. tulang ekor dan jakun  
c. umbai cacing dan tulang rusuk  
d. rambut dada pada laki-laki dan tulang rusuk  
e. tulang ekor dan rambut pada daun telinga
18. Faktor-faktor di bawah ini yang mengakibatkan terjadinya perubahan keseimbangan genetik dari generasi ke generasi dalam suatu populasi yaitu . . .  
a. terjadi seleksi alam  
b. adanya mutasi  
c. sering terjadi *inbreeding*  
d. adanya imigrasi  
e. anggota populasi sangat besar
19. Apabila 1% tikus dalam suatu populasi mempunyai ekor pendek, berapa persen dari tikus yang mempunyai ekor panjang bersifat heterozygot?  
a. 1% d. 81%  
b. 18% e. 99%  
c. 49%
20. Pada hukum Hardy-Weinberg:  $p^2 + 2pq + q^2 = 1.0$ . Nilai  $2pq$  menunjukkan . . .  
a. individu yang homozigot dominan  
b. individu yang heterozygot  
c. individu yang homozigot resesif  
d. kecepatan perubahan jumlah populasi  
e. rasio genetik pada alel multipel
21. Pendukung teori asal usul kehidupan yang menyatakan bahwa makhluk berasal dari benda mati yaitu . . .  
a. Anthonie van Leeuwenhoek  
b. Stanley Miller  
c. Louis Pasteur  
d. Francesco Redi  
e. Lazzaro Spallanzani
22. Teori Abiogenesis runtuh karena percobaan yang dilakukan oleh . . .  
a. Aristoteles  
b. Harold Urey  
c. Louis Pasteur  
d. Alexander Oparin  
e. Anthonie van Leeuwenhoek

23. Perhatikan gambar percobaan berikut ini.



Setelah beberapa hari, stoples yang mengandung belatung adalah . . .

- a. I dan II
- b. I saja
- c. II dan III
- d. III saja
- e. I dan III

24. Setelah teori Abiogenesis gugur, muncul teori Biogenesis. Salah satu tokoh pendukung teori ini adalah Francesco Redi. Melalui berbagai percobaan, tokoh ini menyimpulkan bahwa belatung pada daging di wadah terbuka berasal dari . . .

- a. telur cacing
- b. makhluk hidup lain dari luar daging
- c. kontaminasi udara dengan daging
- d. debu yang menempel pada daging
- e. dalam daging ketika dipotong

25. Louis Pasteur melakukan percobaan dengan menggunakan labu leher angsa untuk mengetahui asal usul kehidupan. Fungsi pipa s atau leher angsa pada tabung percobaan tersebut yaitu . . .

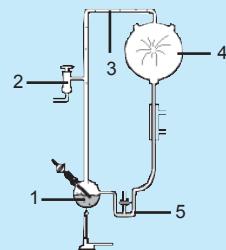
- a. mencegah hubungan dengan udara luar
- b. menghalangi mikroorganisme masuk dan membiarkan udara luar masuk
- c. membiarkan mikroorganisme dan udara luar masuk
- d. mencegah masuknya udara luar dan membiarkan mikroorganisme masuk
- e. menghambat pernapasan mikroorganisme dalam kaldu dengan udara luar

26. Pada eksperimen Stanley Miller dapat diperoleh jawaban mengenai . . .

- a. asal usul kehidupan
- b. terjadinya makhluk hidup pertama
- c. substansi dasar kehidupan
- d. pembentukan organisme prokariotik
- e. permulaan kehidupan di bumi

27. Pada percobaan Miller, tempat berlangsung reaksi antara  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  terjadi pada perangkat nomor . . .

- a. 1
- b. 2
- c. 3
- d. 4
- e. 5



28. Ilmuwan yang mengemukakan teori bahwa zat hidup yang pertama kali terjadi berasal dari reaksi metana, amonia, hidrogen, dan air yaitu . . .

- a. Harold Urey
- b. Stanley Miller
- c. Louis Pasteur
- d. Lazzaro Spallanzani
- e. Francesco Redi

29. Konsep yang dikemukakan oleh Harold Urey menyatakan bahwa kehidupan berasal dari . . .

- a. zat organik yang terurai menjadi zat-zat anorganik
- b. zat anorganik yang mengalami perubahan menjadi makro molekul organik
- c. asam amino menjadi protein sebagai bahan dasar kehidupan
- d. gas-gas yang terdapat di dalam atmosfer purba
- e. benda mati yang mengalami serangkaian proses menjadi benda hidup

30. Hubungan teori Evolusi kimia dengan asal usul kehidupan yaitu . . .

- a. bahan dasar atmosfer purba oleh reaksi halilintar terbentuk senyawa makromolekul
- b. kehidupan diciptakan oleh zat supranatural pada saat istimewa
- c. benda hidup berasal dari benda tak hidup
- d. kehidupan datang di planet bumi dari mana saja
- e. senyawa organik terbentuk di lautan menjadi sifat purba tempat kehidupan pertama

B. Jawablah soal-soal berikut.

1. Jelaskan yang dimaksud dengan teori *Use and Disuse* menurut Lamarck.
2. Sebutkan hal-hal yang mendasari teori Evolusi Darwin.
3. Sebutkan bukti-bukti yang mendukung teori Evolusi.
4. Apa perbedaan homologi dan analogi? Berikan masing-masing contohnya.
5. Jelaskan bahwa seleksi alam merupakan salah satu mekanisme evolusi.
6. Desa B yang berpenduduk 10.000 jiwa terdapat 16 orang yang menderita albino. Berapa frekuensi gen pembawa albino (karier) dalam populasi penduduk tersebut?
7. Berapakah banyaknya orang bertangan normal homozigot dan heterozigot, jika dalam populasi penduduk 200.000 jiwa terdapat 49% orang bertangan kidal?
8. Apakah persamaan antara eksperimen Spallanzani dan Pasteur?

9. Dari berbagai teori tentang asal usul kehidupan, Anda secara pribadi percaya pada teori yang mana? Jelaskan alasan jawaban Anda.

10. Apa yang mendasari para peneliti bahwa asal makhluk hidup di permukaan bumi adalah satu sel yang mengalami proses yang berkesinambungan?

C. Berpikir kritis.

Sering kita lihat acara sirkus yang mempertunjukkan kepiawaian simpanse-simpanse dalam memukul genderang, bahkan bersepeda. Kedua kepandaian itu juga dimiliki manusia. Pada kesempatan lain, simpanse sakit. Dokter hewan yang merawatnya memberi obat yang sebenarnya obat untuk manusia, ternyata simpanse itu berangsur-angsur sembuh. Nah, dari bukti-bukti itu beberapa ilmuwan berkesimpulan bahwa simpanse merupakan kerabat dekat manusia. Setujukah Anda dengan kesimpulan mereka? Bagaimana pendapat Anda tentang kesimpulan itu?



## Refleksi

### Teori Evolusi

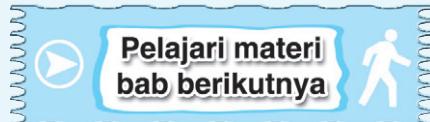
Pelajari kembali

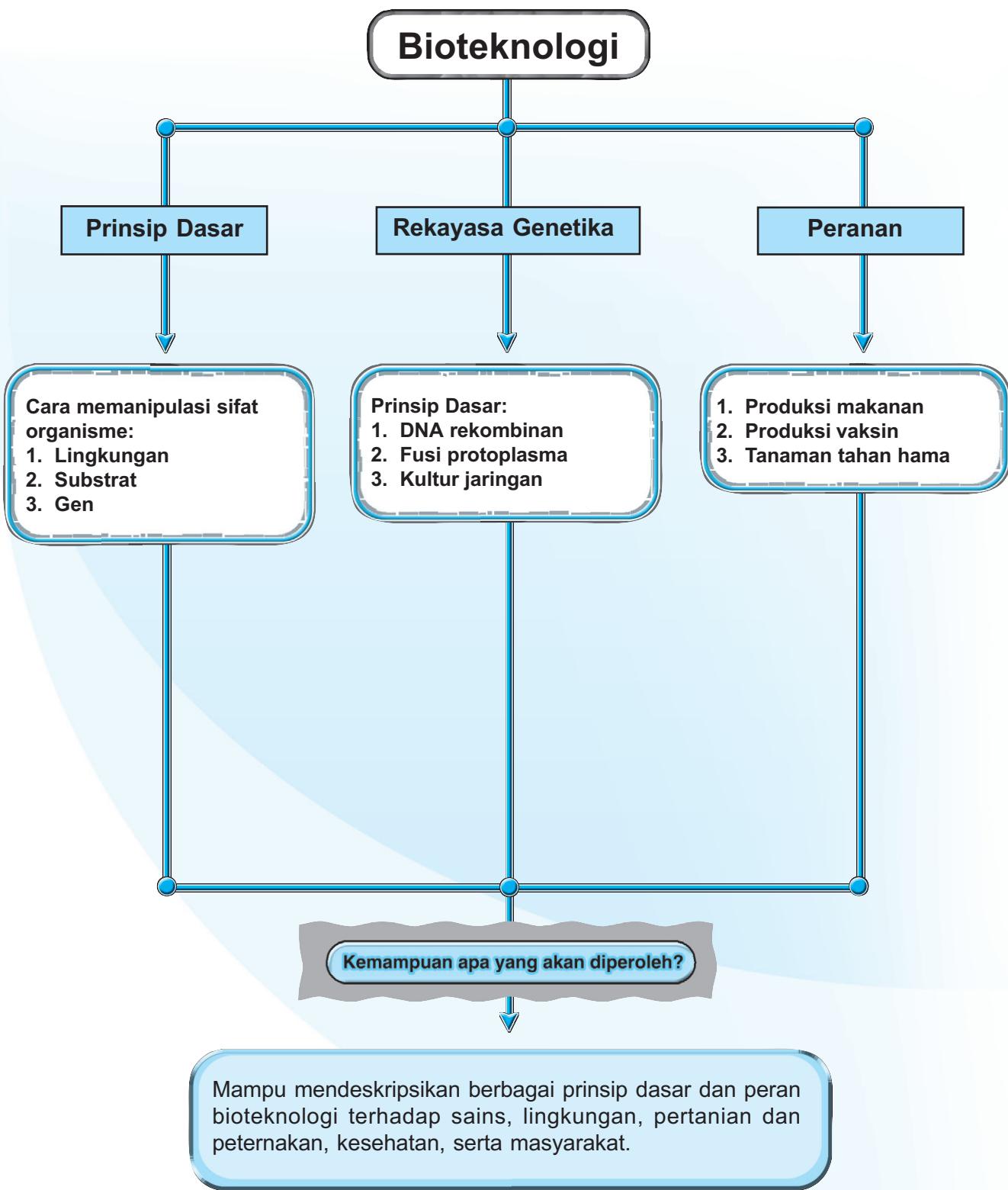
Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

1. Jelaskan tentang teori asal-usul kehidupan
2. Apakah yang dimaksud dengan evolusi?
3. Bagaimanakah sejarah munculnya teori Evolusi?
4. Sebutkan fakta-fakta yang mendukung teori Evolusi.
5. Jelaskan tentang mekanisme evolusi.
6. Bagaimana peranan teori Evolusi terhadap perkembangan sains?

Jawaban betul < 60%

Jawaban betul  $\geq 60\%$







Sumber: Kompas, 1 Juni 2005

Indonesia kembali dikagetkan oleh banyaknya kasus polio yang menjangkiti balita. Padahal, pemerintah sudah mencanangkan bahwa Indonesia telah terbebas dari polio pada tahun 1999. Namun, ternyata beberapa kasus polio masih ditemukan di beberapa daerah di Indonesia. Hal ini membuat pemerintah melalui departemen kesehatan mengadakan imunisasi polio secara serentak. Beribu-ribu botol vaksin polio telah dihabiskan demi suksesnya imunisasi ini. Tahukah Anda bahwa vaksin polio ini dapat diproduksi melalui proses bioteknologi? Apakah bioteknologi itu? Mengapa timbul pro dan kontra seputar aplikasi bioteknologi?

Setelah mempelajari bab ini, Anda diharapkan dapat menjelaskan prinsip dasar, peranan, dan dampak bioteknologi terhadap sains, lingkungan, kesehatan, dan masyarakat.

### Kata Kunci

bioteknologi  
organisme transgenik  
hibrodoma  
kultur jaringan  
transplantasi gen  
plasmid  
rekayasa genetika  
DNA  
bakteri  
antibodi monoklonal  
endonuklease restriksi  
vektor

Tuhan telah menganugerahkan akal kepada manusia. Dengan akal, manusia dapat mengembangkan sumber daya di alam ini untuk menghasilkan produk yang bermanfaat bagi kehidupan. Salah satunya melalui bioteknologi. Bioteknologi bukan sesuatu yang baru. nenek moyang kita telah memanfaatkan bioteknologi dalam pembuatan tempe, oncom, tape, terasi, dan kecap. Produk-produk bioteknologi tidak hanya terbatas pada bidang makanan, bahkan telah sampai pada bidang pertanian, peternakan, dan kesehatan.

## A. Prinsip Dasar Bioteknologi

Pada dasarnya, bioteknologi adalah suatu proses yang melibatkan berbagai agen biologi yang berupa mikroba. Mikroba ini dibiakkan pada suatu substrat yang berisi berbagai makronutrien maupun mikronutrien yang dibutuhkan oleh mikroba dan disebut sebagai media tumbuh. Mikroba yang dibiakkan akan menyintesis suatu bahan. Bahan tersebut berupa produk maupun jasa yang dapat dimanfaatkan manusia. Produk maupun jasa yang dihasilkan sangat tergantung pada mikroba yang digunakan. Mikroba mempunyai sifat pertumbuhan yang spesifik. Suatu biakan mikroba dapat tumbuh dan berkembang dengan baik apabila **substrat** dan **kondisi lingkungannya** sesuai. Perubahan pada substrat maupun kondisi lingkungan menentukan produk maupun jasa yang dihasilkan.

Di kelas IX Anda telah mengenal bioteknologi dan proses-proses bioteknologi. Secara prinsip, bioteknologi modern berbeda dengan bioteknologi konvensional. Perbedaan prinsip itu terutama pada **cara manipulasi sifat-sifat organisme**.

Pada bioteknologi konvensional, manipulasi dilakukan pada kondisi lingkungan dan media tumbuh (substrat). Zat-zat tertentu ditambahkan dalam media tumbuh agar mikroba yang ditumbuhkan mampu menyintesis suatu senyawa, misalnya dalam memproduksi *mono sodium glutamat* (MSG/vetsin). Produksi ini dibantu oleh bakteri *Corynobacterium glutamicum*. Dalam medium tumbuh, ditambahkan *vitamin biotin* dalam jumlah yang sangat kecil. Penambahan ini akan mengakibatkan membran plasma bakteri menjadi lemah (bocor) sehingga asam glutamat yang merupakan bahan utama MSG dapat keluar dari sel bakteri. Hal serupa juga dilakukan dalam industri antibiotik.

Pada bioteknologi modern, manipulasi tidak hanya dilakukan pada kondisi lingkungan serta media kultur, tetapi pada **susunan gen dalam kromosom**. Hal ini seiring dengan kemajuan pengetahuan manusia yang telah sampai pada tingkat molekular. Setelah Anda mencermati teks di atas, cobalah lakukan hal berikut.

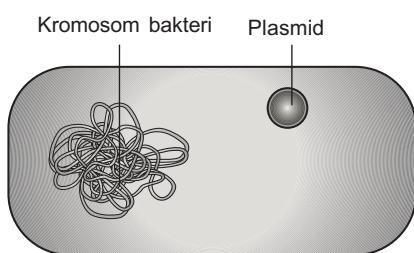


### Forum Diskusi

Bagilah kelas Anda menjadi lima kelompok, kemudian masing-masing kelompok mendiskusikan pertanyaan-pertanyaan di bawah ini.

1. Apa perbedaan prinsip bioteknologi konvensional dan modern?
2. Mengapa proses bioteknologi yang dilakukan nenek moyang kita termasuk dalam bioteknologi konvensional?

Enzim restriksi memotong DNA pada fragmen yang spesifik.



Sumber: Biology, Mader S.S.

**Gambar 8.1**

Sel bakteri

**Tahukah Anda**

### Sejarah Perkembangan Rekayasa Genetika

Orang telah mengenal bahwa sifat suatu organisme dibawa dan dipengaruhi oleh gen. Pengenalan ini dimulai semenjak hukum Mendel dikemukakan. Namun, orang belum mengetahui struktur, bentuk, maupun cara gen tersebut dapat mengatur suatu organisme. Penemuan model DNA oleh Watson dan Crick membuka era menuju penelitian rekayasa genetika. Penemuan tersebut diikuti oleh keberhasilan Nirenberg dan Masher dalam menginterpretasikan kode-kode dalam susunan DNA. Selanjutnya diikuti oleh Gilbert, Maxam, dan Sanger pada tahun 1976 yang berhasil mengembangkan metode untuk menganalisis DNA secara tepat. Seribu nukleotida dapat ditentukan hanya dalam waktu 1 minggu dengan menggunakan metode ini.

3. Pengetahuan apa yang mendasari mereka melakukan proses bioteknologi?
4. Ilmu apa yang mendasari dilaksanakannya bioteknologi modern?

Presentasikan hasil diskusi kelompok Anda di depan kelas. Setiap kelompok dalam kelas dapat memberikan tanggapan dan saling melengkapi.

Seperi yang telah diuraikan di depan, manipulasi yang dilakukan dalam bioteknologi modern ditujukan pada susunan gen dalam kromosom organisme. Oleh karena itu, bioteknologi modern juga dikenal dengan rekayasa genetika. **Rekayasa genetika** adalah semua proses yang ditujukan untuk menghasilkan organisme transgenik. **Organisme transgenik** adalah organisme yang urutan informasi genetik dalam kromosomnya telah diubah sehingga mempunyai sifat menguntungkan yang dikehendaki.

Ada beberapa prinsip dasar dalam rekayasa genetika. Pada bab ini kita hanya akan mempelajari 3 prinsip dasar, yaitu DNA rekombinan, fusi protoplasma, dan kultur jaringan.

## 1. DNA Rekombinan

DNA (*Deoxyribonucleic acid*) bertanggung jawab menentukan sifat makhluk hidup. DNA mempunyai susunan yang khas untuk tiap organisme. Untaian DNA ini dapat diubah susunannya, sehingga diperoleh untaian baru yang mengekspresikan sifat-sifat yang diinginkan. Perubahan susunan DNA ini diperoleh melalui teknik DNA rekombinan.

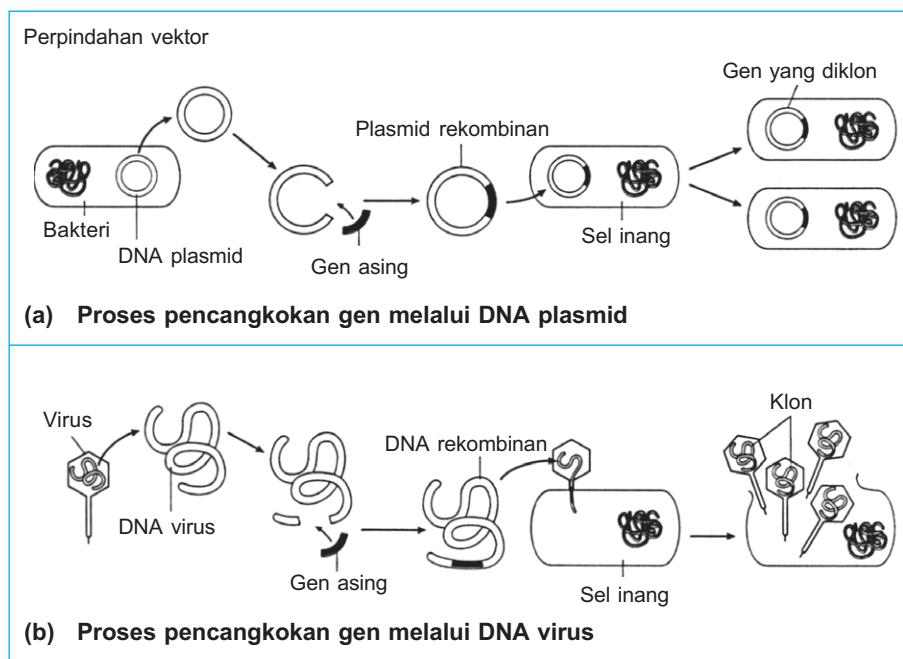
Teknologi DNA rekombinan banyak melibatkan bakteri atau virus sebagai vektor (perantara). Proses DNA rekombinan melalui 3 tahapan. Tahap pertama yaitu mengisolasi DNA, tahap kedua memotong dan menyambung DNA (transplantasi gen/DNA), serta tahap ketiga memasukkan DNA ke dalam sel hidup.

Isolasi DNA dilakukan untuk memilih dan memisahkan DNA maupun gen yang dikehendaki. Isolasi ini dilakukan dengan mengekstrak kromosom dari organisme donor. DNA dalam kromosom yang dipilih harus dipotong terlebih dahulu. Pemotongan gen dalam satu untaian DNA menggunakan enzim endonuklease restriksi yang berperan sebagai gunting biologi. DNA dari suatu organisme dapat diisolasi dengan memotongnya menjadi segmen-segmen kecil menggunakan enzim tersebut.

Segmen DNA yang diperoleh, kemudian dimasukkan dalam suatu vektor. Vektor ini harus dapat berikatan dengan gen, memperbanyak, dan mengekspresikan gen tersebut. Vektor (pembawa) pada proses ini berupa plasmid atau virus. **Plasmid** adalah rantai DNA melingkar di luar kromosom bakteri. Perhatikan Gambar 8.1.

Plasmid maupun DNA virus harus dipotong terlebih dahulu agar dapat digunakan sebagai vektor. Pemotongan ini juga menggunakan enzim endonuklease restriksi. Gen atau DNA yang telah diisolasi kemudian dicangkokkan ke dalam plasmid. Proses ini dikenal dengan **transplantasi gen**. Transplantasi dilakukan

dengan cara mencangkokkan (menyambung) gen yang telah diisolasi ke dalam DNA plasmid vektor. Penyambungan gen tersebut menggunakan enzim ligase yang mampu menyambung ujung-ujung nukleotida dan berperan sebagai lem biologi. Setelah penyambungan ini maka vektor mengandung DNA asli dan DNA sisipan (asing). Dengan demikian, diperoleh organisme dengan rantai DNA gabungan atau kombinasi baru sehingga rantai DNA ini disebut **DNA rekombinan**. Rangkaian proses DNA rekombinan menggunakan vektor plasmid maupun virus dapat Anda simak dalam Gambar 8.2 berikut.



Sumber: Biology, Mader S.S.

**Gambar 8.2**

Proses DNA rekombinan

DNA baru yang telah membawa segmen DNA cangkokan selanjutnya memasuki tahap akhir, yaitu dimasukkan ke dalam vektor sel bakteri maupun virus. Pemasukan ini melalui pemanasan dalam larutan NaCl atau melalui elektroporasi. Selanjutnya, bakteri ini (misal: *Escherichia coli*) melakukan replikasi dengan cara membelah diri. Melalui proses ini, diperoleh plasmid-plasmid hasil transplantasi gen (DNA rekombinan) dalam jumlah banyak. Lakukan simulasi langkah-langkah teknik DNA rekombinan berikut agar Anda lebih paham.

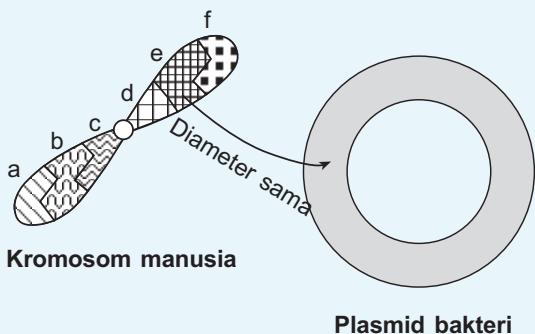


## Eksperimen

### Melakukan Simulasi Langkah-Langkah Teknik DNA Rekombinan

Buatlah 2 buah pita dari kertas yang menyerupai bentuk kromosom manusia dan plas-

mid. Pita tersebut haruslah mempunyai tebal yang sama. Selanjutnya, berilah arsiran dengan motif yang berbeda-beda. Anggaplah setiap arsiran itu gen yang mengkode suatu sifat pada organisme.



- a. Gen yang mengkode warna rambut.
- b. Gen yang mengkode produksi insulin.
- c. Gen yang mengkode warna kulit.
- d. Gen yang mengkode produksi kelenjar pituitari.

- e. Gen yang mengkode buta warna.
- f. Gen yang mengkode indra pengecap.

Lakukan simulasi langkah-langkah pada DNA rekombinan untuk memproduksi insulin.

#### Pertanyaan

1. Bagaimanakah Anda dapat mengisolasi DNA yang Anda maksud?
2. Dengan apa Anda mengisolasi gen tersebut?
3. Proses apa yang harus Anda lakukan untuk mencangkok (transplantasi) DNA tersebut?
4. Dengan apa Anda melakukan proses tersebut?
5. Bagaimanakah cara Anda memperbanyak rangkaian yang telah Anda peroleh?

Buatlah laporan tertulis dari kegiatan ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

DNA rekombinan merupakan teknik yang paling banyak digunakan untuk menghasilkan organisme transgenik (melalui transplantasi gen). Selain melalui teknologi DNA rekombinan kita juga dapat menggunakan prinsip lain untuk mendapatkan produk transgenik. Prinsip tersebut adalah fusi protoplasma.

## 2. Fusi Protoplasma

**Fusi protoplasma** adalah penggabungan dua sel dari jaringan yang sama atau dua sel dari organisme yang berbeda dalam suatu medan listrik. Hal ini akan mengakibatkan kedua sel akan tertarik satu sama lain dan akhirnya mengalami fusi (melebur). Prinsip ini dapat dilakukan pada sel tumbuhan maupun sel hewan.

Fusi protoplasma pada tumbuhan dilakukan melalui serangkaian tahap. Tahap-tahap tersebut diawali dengan menyiapkan protoplasma. Protoplasma biasanya diambil dari sel-sel yang masih muda karena mempunyai dinding sel tipis serta protoplasma yang banyak dan utuh.

Tahap selanjutnya adalah mengisolasi protoplasma sel yang telah dipersiapkan. Protoplasma diisolasi dengan cara menghilangkan dinding selnya. Dinding sel ini dihancurkan terlebih dahulu dengan menggunakan enzim kemudian dilakukan penyaringan dan sentrifugasi berkali-kali. Protoplasma yang didapat kemudian diuji viabilitasnya (aktivitas hidupnya) dengan cara melihat aktivitas organel, misalnya melihat aktivitas fotosintesisnya. Fusi protoplasma dilakukan dalam suatu medan listrik. Setelah sel-sel tadi mengalami fusi, tahap selanjutnya adalah menyeleksi protoplasma yang dihasilkan. Setiap sel mempunyai spesifikasi tertentu. Protoplasma yang terseleksi kemudian dibiakkan.

Fusi protoplasma pada sel hewan dan manusia sangat berguna terutama untuk menghasilkan hibridoma. **Hibridoma** merupakan hasil fusi yang terjadi antara sel pembentuk antibodi dan sel mieloma. Sel pembentuk antibodi ini adalah *sel limfosit B*, sedangkan sel mieloma sendiri merupakan sel kanker. Sel

hibridoma yang dihasilkan dapat membelah secara tidak terbatas seperti sel kanker, tetapi juga menghasilkan antibodi seperti sel-sel *limfosit B*. Hibridoma yang dihasilkan diseleksi karena setiap sel menghasilkan antibodi yang sifatnya khas. Satu antibodi yang dihasilkan spesifik untuk satu antigen. Setiap hibrid ini kemudian diperbanyak (dikloning). Oleh karena antibodi ini berasal dari satu klon maka antibodi ini disebut **antibodi monoklonal**.

Kedua prinsip di atas membutuhkan teknik lain agar organisme transgenik yang diperoleh dapat ditumbuhkan. Hal ini penting untuk membuktikan keberhasilan proses yang berlangsung, terutama untuk sel-sel tumbuhan. Sel-sel tersebut harus dapat ditumbuhkan menjadi organisme utuh. Oleh karena itu, rangkaian proses rekayasa genetika pada tumbuhan membutuhkan teknik kultur jaringan. Apakah kultur jaringan itu? Simaklah materi berikut untuk menjawab pertanyaan di atas.

### 3. Kultur Jaringan

Pernahkah Anda melihat dan mengamati tumbuhan cocor bebek (*Kalanchoe pinata*) tumbuh dari sehelai daunnya yang diletakkan di atas tanah? Tumbuhan tersebut dapat tumbuh menjadi tanaman yang lengkap dari sehelai daunnya. Begitu pula dengan batang ketela pohon berbuku (*Manihot utilisima*) yang diletakkan di atas tanah. Batang itu dapat tumbuh menjadi pohon ketela pohon yang lengkap dengan daun, batang, dan akar. Cocor bebek maupun ketela pohon dapat berkembang biak secara vegetatif menggunakan bagian tubuhnya (daun atau batang yang mempunyai nodus). Kultur jaringan juga menggunakan prinsip yang sama yaitu perkembangbiakan vegetatif pada tumbuhan. Namun, terdapat perbedaan yang jelas antara keduanya.

Perbedaannya terletak pada bagian yang ditumbuhkan. Pada kultur jaringan, tumbuhan yang lengkap dapat diperoleh dari sel maupun jaringan tumbuhan. Perbedaan lainnya adalah tidak semua tumbuhan dapat diperbanyak menggunakan daun maupun batang (hanya tumbuhan tertentu saja). Melalui kultur jaringan, semua tumbuhan dapat ditumbuhkan dari jaringan maupun sel pada suatu media buatan.

Teori yang melandasi teknik kultur jaringan ini adalah teori **Totipotensi**. Setiap sel tumbuhan memiliki kemampuan untuk tumbuh menjadi individu baru bila ditempatkan pada lingkungan yang sesuai. Individu-individu yang dihasilkan akan mempunyai sifat yang sama persis dengan induknya.

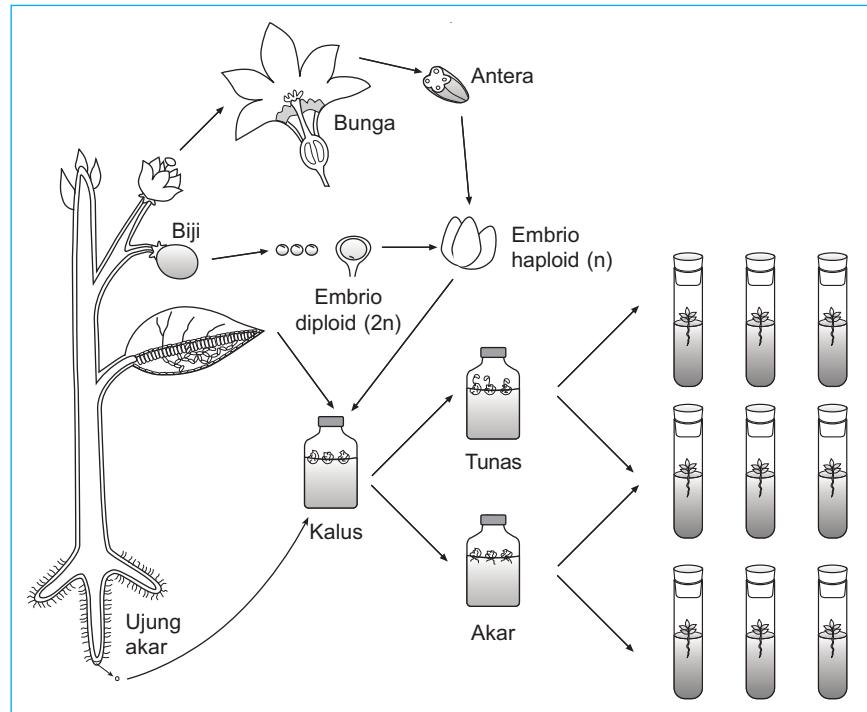
Teori ini pertama kali dikemukakan oleh seorang ahli Fisiologi Jerman, yaitu **G. Haberlandt** pada tahun 1898. Teori itu diuji ulang oleh **F.C. Steward** pada tahun 1969 dengan menggunakan satu sel empulur wortel. Dalam percobaannya, Steward dapat menumbuhkan satu sel empulur itu menjadi satu individu wortel.

Tumbuhnya satu sel menjadi tanaman yang utuh karena sel maupun jaringan tersebut ditanam pada suatu media yang dilengkapi dengan berbagai macam makronutrien maupun mikronutrien yang dibutuhkan oleh tanaman. Medium tersebut juga diperkaya dengan hormon pertumbuhan, misalnya auksin dan sitokin. Penambahan hormon ini tergantung pada kebutuhan tanaman dan tujuan pelaksanaannya. Misalnya

Ingat! Kultur jaringan merupakan aplikasi sifat totipotensi tumbuhan.



apabila ingin menumbuhkan akar dari suatu jaringan, maka ditambahkan hormon auksin dalam medium. Namun, apabila ingin menumbuhkan tunas dari suatu sel maupun jaringan maka medium tersebut ditambah dengan sitokinin. Selain itu, hormon auksin mempunyai kemampuan untuk menutup luka dengan memacu pembelahan sel sehingga membentuk gumpalan kalus. **Kalus** ini berupa massa sel yang belum terdiferensiasi. Kalus juga dapat ditumbuhkan dalam medium yang ditambah dengan sitokinin berlebih.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

**Gambar 8.3**

Perkembangan teknik kultur jaringan

Seluruh bagian tubuh tumbuhan dapat diperbanyak menjadi tanaman baru melalui teknik kultur jaringan

Tahap-tahap kultur jaringan dalam membentuk embrio dari sel somatik serupa pada tahap perkembangan zigot menjadi embrio. Perkembangan tersebut dimulai dari sel → globular → bentuk jantung → bentuk torpedo → bentuk kotiledon → bentuk plantlet (tumbuhan muda). Perhatikan Gambar 8.3 di atas.

Kultur jaringan sebenarnya merupakan perbanyakan vegetatif seperti halnya pada pencangkokan maupun stek, hanya saja dalam menanam (mengkultur) cukup berupa jaringan atau sel saja. Selain itu, medium yang digunakan tidak berupa tanah, tetapi menggunakan medium buatan (biasanya berupa agar-agar yang diperkaya dengan hormon, vitamin, dan unsur hara).

Kultur jaringan merupakan salah satu alternatif untuk mendapatkan tanaman baru yang mempunyai sifat sama dengan induknya. Teknik ini hanya membutuhkan jaringan maupun sel dari tumbuhan dan akan didapatkan tanaman sejenis dalam jumlah besar. Kultur jaringan sering disebut sebagai perbanyakan secara *in vitro* karena jaringan ditanam (dikultur) pada suatu media buatan (bukan alami).

### Tahukah Anda

#### Tahap-Tahap Kultur Jaringan

Materi tumbuhan yang akan dikulturkan dalam kultur jaringan disebut eksplan. Eksplan dapat diambil dari tanaman dewasa, tanaman hasil cangkokan, ataupun tanaman pembenihan (*seeding*). Pada media yang sesuai, eksplan akan tumbuh menjadi kalus. Selanjutnya, kalus akan berkembang menjadi tanaman kecil yang disebut plantlet.

Kita dapat memperbanyak bibit unggul dengan mudah dan cepat melalui kultur jaringan, demikian juga dengan usaha pelestarian tanaman langka atau tanaman lain yang mempunyai nilai ekonomis tinggi. Kultur jaringan merupakan salah satu rangkaian teknik rekayasa genetika karena dapat menumbuhkan sel-sel transgenik. Oleh karena itu, dapat pula dikatakan bahwa kultur jaringan sebagai alat (*tool*) dalam pelaksanaan rekayasa genetika. Lakukan kegiatan berikut agar Anda lebih memahami mengenai kultur jaringan.



### Forum Diskusi

Diskusikan dengan teman Anda mengenai apa saja manfaat kultur jaringan sebagai metode pembiakan vegetatif tumbuhan. Jawab pertanyaan di bawah ini.

1. Mengapa kultur jaringan termasuk dalam bioteknologi?
2. Apakah metode tersebut menggunakan mikrobia?
3. Mengapa kultur jaringan dapat digunakan untuk menjaga kelestarian tumbuhan?

Catat hasil diskusi Anda dalam buku kerja. Selanjutnya Anda dapat mempresentasikan hasil diskusi tersebut di depan kelas.



### Uji Kompetensi A

Jawablah soal-soal berikut.

- |  |  |
|--|--|
| 1. Sebutkan prinsip dasar bioteknologi.<br>2. Sebutkan perbedaan prinsip bioteknologi konvensional dan modern. | 3. Jelaskan prinsip dasar DNA rekombinan.<br>4. Jelaskan prinsip dasar fusi protoplasma.<br>5. Jelaskan prinsip dasar kultur jaringan dan alasan kultur jaringan menjadi bagian rekayasa genetika. |
|--|--|

## B. Penerapan Bioteknologi dan Dampaknya

Penerapan bioteknologi begitu luas dan telah dilakukan selama beratus-ratus tahun mulai dari taraf sederhana sampai modern. Bioteknologi sederhana telah banyak kita temui dalam kehidupan sehari-hari. Selain memberikan keuntungan, penerapan bioteknologi juga tak lepas dari dampak buruk yang ditimbulkan. Apa saja aplikasi bioteknologi tersebut? Bagaimana dampak penerapan teknologi tersebut? Marilah kita pelajari dalam uraian berikut.

### 1. Penerapan Bioteknologi dalam Bidang Pangan, Pertanian dan Peternakan, serta Kedokteran

#### a. Bidang Pangan

Penerapan bioteknologi dalam memproduksi makanan dan minuman merupakan aplikasi bioteknologi tertua. Aplikasi ini banyak dijumpai pada bioteknologi konvensional melalui proses fermentasi. Lakukan kegiatan berikut untuk mengetahui penerapan bioteknologi konvensional di sekitar kita.



## Tugas Kelompok

Buatlah kelompok masing-masing terdiri dari lima orang. Selanjutnya kunjungi salah satu industri rumah tangga yang menurut Anda menggunakan proses fermentasi (bioteknologi konvensional), misalnya industri tempe, yoghurt, ataupun kecap. Catat dan buat laporan tertulis mengenai jenis mikrobia yang digunakan dan proses yang berlangsung. Presentasikan hasil yang Anda peroleh dan bandingkan dengan laporan kelompok lain.



### Tahukah Anda

#### *Methylophylus Methylophylus* Sebagai Sumber PST

*Methylophylus methylophylus* ditumbuhkan pada metanol dan tropina yang berasal dari khamir yang ditumbuhkan pada buangan zat sisa pertanian, kehutanan, daging, dan kertas. PST ini biasa digunakan untuk makanan ternak agar menghasilkan susu dan daging yang berkualitas.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

#### Gambar 8.4

Spirulina dalam bentuk cair dan bubuk

Teknologi fermentasi dan hasil-hasilnya telah kita bahas di kelas IX. Pada saat ini, kita pelajari bioteknologi pangan yang lebih modern, yaitu protein sel tunggal (PST atau *Single Cell Protein*) dan mikoprotein.

#### 1) Protein Sel Tunggal (PST)

Sebagai sumber protein, organisme penghasil PST mempunyai beberapa keunggulan. Keunggulan tersebut terletak pada kemampuan perkembangbiakan yang cepat dan relatif mudah, serta mempunyai konversi protein yang tinggi dibanding sumber protein yang lain. PST mempunyai kadar protein lebih tinggi bila dibandingkan kadar protein kedelai. Keunggulan lainnya yaitu substrat yang digunakan sebagai medium tumbuh mikrobia penghasil PST ini dapat memanfaatkan limbah.

Beberapa contoh mikrobia yang dapat digunakan sebagai PST yaitu *Saccharomyces cerevisiae* dan *Candida utilis*. Mikrobia ini dapat dibiakkan dalam skala besar (industri). Protein yang dihasilkan oleh mikrobia ini mengandung asam nukleat tinggi, namun tubuh manusia kurang memiliki enzim untuk memetabolismenya. Hal ini cenderung menimbulkan reaksi yang merugikan pada saluran pencernaan manusia. PST dari mikrobia ini (*S. cerevisiae* dan *C. utilis*) sering digunakan sebagai suplemen makanan ternak.

Mikrobia lain yang digunakan sebagai sumber PST yaitu *Spirulina*. *Spirulina* termasuk Cyanobacteria (ganggang biru) yang dapat berfotosintesis sehingga sangat menguntungkan sebagai sumber makanan. *Spirulina* telah digunakan selama berabad-abad dalam bentuk kering oleh bangsa Aztec di Meksiko. Saat ini produk PST banyak dijumpai di pasaran, seperti terlihat pada Gambar 8.4 di samping.

#### 2) Mikoprotein

Mikoprotein adalah bahan makanan sumber protein yang dihasilkan melalui proses fermentasi secara berkesinambungan dari miselium jamur *Fusarium graminearum*. Jamur tersebut ditumbuhkan pada substrat yang mengandung glukosa dan zat hara lain. Jamur ini juga membutuhkan gas amonia serta garam amonia sebagai sumber nitrogen.

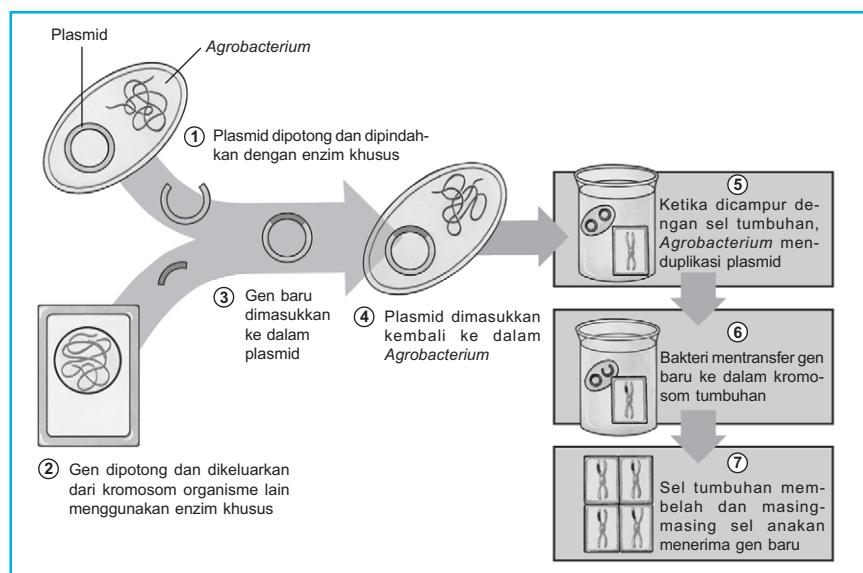
Selain mempunyai nilai konversi protein tinggi, mikoprotein juga mempunyai nilai gizi yang tinggi. Pengujian dan penelitian terhadap nilai gizi serta keamanan bagi konsumennya telah banyak dilakukan. Menurut penelitian telah diketahui bahwa

mikoprotein mengandung 47% protein, 14% lemak, 25% serat untuk diet, 10% karbohidrat, 1% RNA, dan 3% abu.

## b. Bidang Pertanian dan Peternakan

Indonesia merupakan negara agraris yang menitikberatkan pembangunan pada sektor pertanian. Namun hingga kini kebutuhan beras masih lebih tinggi daripada produksi nasional sehingga Indonesia perlu mengimpor beras. Kondisi ini berbeda dengan negara-negara industri maju seperti Amerika. Meskipun bukan negara agraris, produksi kedelai Amerika lebih besar daripada produksi kedelai Indonesia. Semua ini terjadi karena negara industri maju menerapkan bioteknologi modern dalam mengelola pertaniannya.

Bioteknologi modern banyak diaplikasikan dalam bidang pertanian dan peternakan, terutama dalam usaha mendapatkan bibit unggul. Bioteknologi dalam bidang pertanian dan peternakan modern banyak memanfaatkan teknologi DNA rekombinan. Proses DNA rekombinan pada tumbuhan menggunakan vektor *Agrobacterium tumefaciens* yang mempunyai plasmid Ti (*Tumor inducing*). Langkah pertama, plasmid Ti diisolasi, kemudian disisipi dengan gen asing (transplantasi gen). Setelah itu, plasmid dimasukkan ke dalam *A. tumefaciens*. Ketika digabung dengan sel-sel tumbuhan, *A. tumefaciens* membiakkan plasmid. Setelah berbiak, *A. tumefaciens* yang telah mengalami rekombinasi (melalui proses DNA rekombinan) kembali menginfeksi kromosom tumbuhan. Kini tumbuhan tersebut telah mengandung gen asing yang dicangkokkan pada *A. tumefaciens*. Sel-sel yang dihasilkan dari proses DNA rekombinan tersebut ditumbuhkan dengan metode kultur jaringan sehingga menghasilkan tunas. Setelah tumbuh, tanaman tersebut dapat ditanam pada lahan pertanian. Rangkaian proses tersebut dapat Anda simak pada Gambar 8.5 berikut.



Sumber: Biology, Raven dan Johnson

**Gambar 8.5**

Rekayasa genetika pada tumbuhan *Agrobacterium tumefaciens* dengan menggunakan plasmid Ti



### Tahukah Anda

#### Petualangan Mencari Vektor

Dalam rekayasa genetika pada tumbuhan, vektor harus dapat disisipi DNA tumbuhan. Vektor ini sulit diperoleh hampir semua plasmid mikroba tidak dapat disisipi oleh DNA tumbuhan.

Peneliti banyak melakukan penelitian mikroba apa yang dapat disisipi dan menjadi vektor proses DNA rekombinan pada tumbuhan. Akhirnya ditemukan vektor yang tepat yaitu plasmid Ti (*Tumor inducing*). Plasmid Ti ini terdapat pada bakteri *Agrobacterium tumefaciens* yang menginfeksi batang tomat, tembakau, dan buncis. Bakteri ini dapat dijadikan vektor karena terdapat bagian dari plasmid Ti yang terintegrasi (menyatunya) dengan DNA tumbuhan inang.

Aplikasi (penerapan) DNA rekombinan dengan vektor mikroba telah menghasilkan hewan maupun tumbuhan transgenik. Hewan maupun tumbuhan yang dihasilkan melalui proses ini mempunyai karakteristik yang tidak ditemukan di alam. Beberapa contoh aplikasi bioteknologi dalam bidang pertanian dan peternakan sebagai berikut.

### 1) *Padi Transgenik*

Penelitian terkini di Jepang yang dilakukan oleh Rachmawati, D., Mori, T., Hosaka, T., Takaiwa, F., Inoue, E., dan Anzai, H. melaporkan bahwa *Agrobacterium* juga dapat digunakan pada tanaman serealia, salah satunya padi. Hasil penelitian mereka telah ditulis dalam jurnal *Breeding Science* dengan judul *Production and Characterization of Recombinant Human Lactoferrin in Transgenic Javanica Rice*. Penelitian ini telah berhasil mengekspresikan laktokerin rekombinan pada tanaman padi transgenik kultur rojolele. Laktokerin berfungsi memberikan daya tahan terhadap serangan mikroba patogen (antibakterial, antiviral, dan antifungal), antiinflamatori, memacu pertumbuhan sel limfosit, aktivitas antioksidan, dan berperan dalam transpor besi dalam tubuh manusia. Walaupun ekspresi laktokerin pada biji padi rojolele transgenik hanya sekitar 20%, namun penelitian ini telah membuktikan dan menjadi pionir penggunaan *Agrobacterium* sebagai vektor tanaman serealia. Para ilmuwan di Inggris, Cina, Australia, dan Meksiko juga telah mengembangkan cara lain untuk memperoleh tanaman serealia unggul. Mereka mempelajari peningkatan kandungan vitamin A pada padi di laboratorium dan mengembangkan padi yang tahan terhadap cuaca dingin.

### 2) *Tembakau Resistan terhadap Virus*

Penggunaan plasmid Ti (*Tumor inducing*) *Agrobacterium tumefaciens* sebagai vektor sangat luas pemanfaatannya. Berbagai macam tumbuhan dapat dikembangkan melalui DNA rekombinan dengan plasmid Ti ini. Salah satu pemanfaatannya yaitu pada penemuan tumbuhan tembakau yang tahan terhadap virus TMV (*Tobacco Mozaic Virus*).

Tumbuhan tidak mempunyai sistem kekebalan seperti pada hewan. Beachy, seorang ilmuwan dari Universitas Washington (AS) mengembangkan tumbuhan yang tahan terhadap virus TMV. Ia menggunakan plasmid Ti yang digabung dengan gen yang tahan terhadap penyakit TMV. Gabungan ini kemudian dimasukkan dalam kromosom tembakau. Kromosom tembakau yang telah disisipi gen tahan virus TMV tersebut kemudian diperbanyak melalui teknik kultur jaringan. Tanaman tembakau yang dihasilkan

terbebas dari infeksi virus TMV. Virus TMV tidak dapat menginfeksi sel-sel tumbuhan tembakau transgenik yang telah disisipi oleh gen tahan virus TMV.

### 3) Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman (Biokontrol)

Mikrobia telah dimanfaatkan untuk mengendalikan hama dan penyakit tanaman (biokontrol). Keuntungan pemanfaatan biokontrol untuk pertanian antara lain mengurangi penggunaan pestisida yang tidak ramah lingkungan. Contoh mikrobia yang digunakan sebagai biokontrol di antaranya *Beauveria bassiana* (Gambar 8.6) untuk mengendalikan serangga seperti pada Gambar 8.7, *Metarrhizium anisopliae* untuk mengendalikan hama boktor tebu (*Dorysthenes* sp.), dan *Trichoderma harzianum* untuk mengendalikan penyakit tular tanah (*Gonoderma* sp., jamur akar putih, dan *Phytophthora* sp.). Produk-produk biokontrol yang telah dikomersialisasikan oleh unit kerja lingkup Lembaga Riset Perkebunan Indonesia (LRPI) antara lain Meteor, Greemi-G, Triko SP, NirAma, dan Marfu.

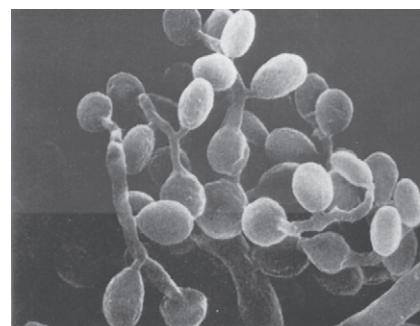
### 4) Pembuatan Pupuk Organik

Mikrobia juga dimanfaatkan dalam proses pembuatan pupuk organik. Peneliti di Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia (BPPBI) mengembangkan teknologi pembuatan pupuk superfosfat yang disebut Bio-SP dengan menggunakan bantuan mikroba pelarut fosfat. Keunggulan teknologi ini yaitu penggunaan agen biologi untuk mengurangi penggunaan asam anorganik sehingga lebih aman bagi lingkungan dan mengurangi biaya produksi.

### 5) Biosuplemen Probiotik untuk Sapi

Para peternak biasa memasukkan biosuplemen ke dalam pakan ternak. Probiotik merupakan mikrobia yang dapat meningkatkan kesehatan ternak dan mempermudah penyerapan dalam saluran pencernaan ternak. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) telah mampu memproduksi biosuplemen probiotik yang diberi nama PSc. PSc telah diujikan terhadap sapi potong dan sapi perah di Jawa Barat dan Jawa Tengah. Hasil pengujian menunjukkan adanya kenaikan produksi daging sapi potong dan produksi susu pada sapi perah.

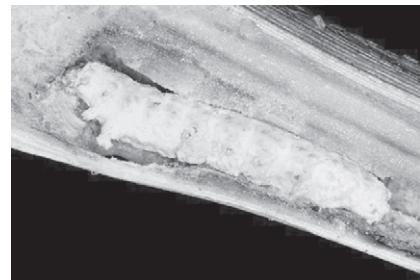
Bioteknologi di bidang pertanian dan peternakan terus berkembang. Anda telah mempelajari beberapa produk bioteknologi dalam uraian di atas. Selain yang telah disebutkan, masih ada beberapa produk bioteknologi di bidang pertanian dan peternakan di antaranya sebagai berikut.



Sumber: www.vertigo.uqam.ca

**Gambar 8.6**

*Beauveria bassiana* merupakan salah satu mikrobia yang digunakan sebagai biokontrol



Sumber: entomology.uml.edu

**Gambar 8.7**

Serangga yang mati karena ditumbuhi jamur *B. bassiana*

**Tabel 8 Produk Bioteknologi di Bidang Pertanian dan Peternakan**

No.	Produk Bioteknologi	Keterangan
1.	Bunga antilayu	Etilen merupakan hormon tumbuhan yang menyebabkan bunga menjadi layu. Para peneliti mengganti gen yang sensitif terhadap etilen pada mahkota bunga dengan gen yang kurang sensitif sehingga kelayuan bunga dapat ditunda. Contohnya anyelir transgenik yang mampu bertahan tetap segar selama 3 minggu.
2.	Buah tahan kebusukan	Etileh juga merangsang pematangan buah. Aktivitas gen penghasil etilen dapat dihambat melalui rekayasa genetika sehingga buah tetap segar dalam waktu yang cukup lama. Contohnya tomat "Flavr Savr".
3.	Ikan salmon raksasa	Ikan salmon disisipi gen yang dapat menghasilkan hormon pertumbuhan yang aktif pada fase pertumbuhan embrio. Ikan salmon transgenik ini mempunyai berat 11 kali lipat dibanding ikan salmon biasa dan siklus hidupnya lebih pendek.
4.	Sapi perah dengan hormon manusia	Gen laktiferin yang memproduksi HLF ( <i>Human Lactoferrin</i> ) disisipkan pada sapi perah melalui rekayasa genetika. Sapi tersebut akan memproduksi susu yang mengandung laktiferin. Contohnya sapi Herman.
5.	Hormon Bovin Somatotropin (BST)	Gen somatotropin sapi ditransplantasikan pada plasmid <i>Escherichia coli</i> sehingga menghasilkan BST. BST yang ditambahkan pada makanan ternak dapat meningkatkan produksi daging dan susu ternak.
6.	Kain "alami" sintesis	Kain dari serat alami mempunyai tekstur halus tetapi mudah putus. Adapun kain dari serat sintetis (poliester) tidak mudah putus tetapi terasa panas. Kini telah dikembangkan gen pada bakteri yang mengkode enzim yang dapat mensintesis poliester.



### **Tugas Mandiri**

Carilah informasi baik di koran, majalah, maupun internet tentang penemuan-penemuan dalam bidang pertanian dan peternakan melalui teknologi rekayasa genetika terbaru. Catat dan presentasikan hasil yang Anda peroleh di depan kelas.

#### **c. Bidang Kedokteran**

Penerapan rekayasa genetika dalam bidang kedokteran untuk memproduksi hormon buatan, vaksin untuk melawan virus, maupun antibodi.

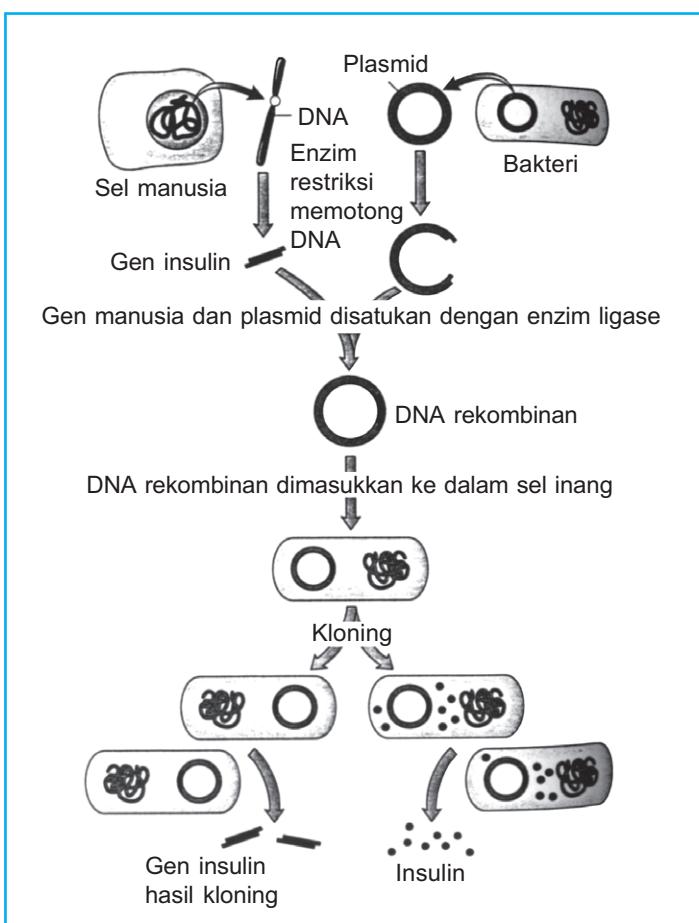
##### **1) Pembuatan Insulin**

Insulin adalah hormon yang dikeluarkan oleh kelenjar pankreas. Hormon ini berperan dalam mengatur kadar gula dalam darah (glukosa). Namun, tidak semua

orang dapat memproduksi insulin dengan jumlah yang sesuai kebutuhan tubuh. Bahkan, terdapat pula orang yang sama sekali tidak memproduksi insulin. Orang ini adalah penderita *diabetes mellitus*.

Pasien diabetes memerlukan suntikan insulin tambahan. Pada awalnya insulin ini dibuat dari kelenjar pankreas sapi atau babi. Insulin yang dibutuhkan seorang pasien diabetes selama setahun lebih kurang sebanyak 0,5 g. Insulin seberat itu diperoleh dari 4.800 g kelenjar pankreas dari 28 ekor hewan. Padahal, bila penderita *diabetes mellitus* sebanyak 800 pasien lebih, berapa banyak hewan yang harus diambil pankreasnya setiap tahun?

Kebutuhan insulin terpenuhi melalui pengambilan insulin dari hewan, tetapi beberapa pasien menunjukkan gejala alergi. Melalui teknik rekayasa genetika, dapat diperoleh insulin dalam jumlah banyak tanpa mengorbankan banyak hewan ternak. Insulin ini diperoleh dengan mencangkokkan gen (transplantasi gen) yang mengkode insulin ke dalam plasmid bakteri. Bakteri dengan gen gabungan ini dibiarkan membiakkan diri. Bakteri yang dibiakkan tersebut dapat memproduksi insulin yang dibutuhkan. Hal ini dapat Anda simak pada Gambar 8.8 berikut ini.



Sumber: Biology, Mader S.S.

**Gambar 8.8**  
Langkah-langkah DNA rekombinan pada produksi insulin

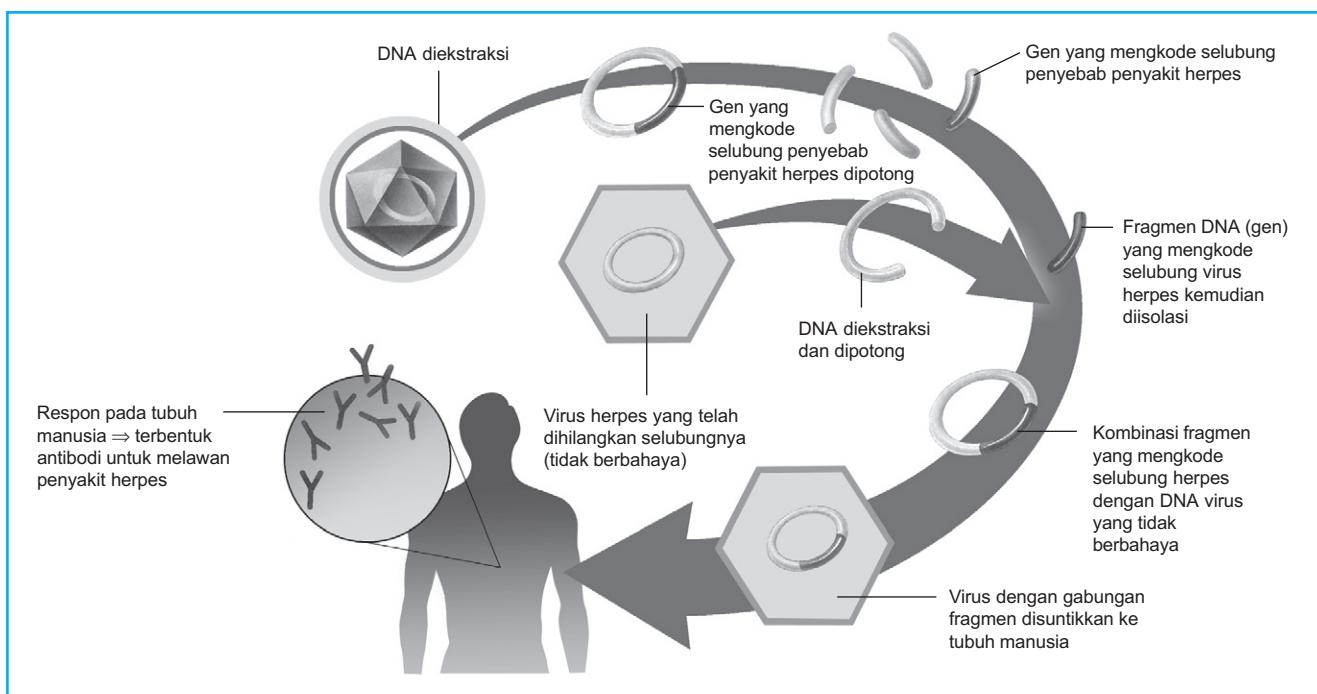
## 2) Produksi Vaksin

Selain digunakan untuk memproduksi hormon maupun enzim, teknologi DNA rekombinan juga digunakan untuk membuat vaksin. Pada aplikasi ini, secara garis besar beberapa mikroorganisme digunakan untuk menghambat kemampuan mikroorganisme patogen (penyebab penyakit).

Mikroba menjadi suatu bahan penyakit dalam tubuh apabila mikroba tersebut menghasilkan senyawa toksik bagi tubuh manusia. Selain itu, bagian-bagian tubuh mikroba seperti flagel dan membran sel juga dapat menimbulkan penyakit. Hal ini karena bagian-bagian tersebut kemungkinan terdiri dari protein asing bagi tubuh. Senyawa dan protein asing ini disebut **antigen**.

Gen yang mengkode senyawa penyebab penyakit (antigen) diisolasi dari mikroba yang bersangkutan. Kemudian gen ini disisipkan pada plasmid mikroba yang sama, tetapi telah dilemahkan (tidak berbahaya). Mikroba ini menjadi tidak berbahaya karena telah dihilangkan bagian yang menimbulkan penyakit, misal lapisan lendirnya. Mikroba yang telah disisipi gen ini akan membentuk antigen murni. Bila antigen ini disuntikkan pada manusia, sistem kekebalan manusia akan membuat senyawa khas yang disebut antibodi. Munculnya antibodi ini akan mempertahankan tubuh dari pengaruh senyawa asing (antigen) yang masuk dalam tubuh.

Pelajari Gambar 8.9 berikut agar Anda lebih memahami pembuatan vaksin transgenik.



Sumber: Biology, Raven & Johnson

Gambar 8.9

Pembentukan vaksin transgenik

Indonesia juga memanfaatkan bioteknologi untuk membuat vaksin flu burung. Baru-baru ini para ahli dari Fakultas Kedokteran Hewan IPB bekerja sama dengan Shigeta Pharmaceutical, sebuah perusahaan farmasi dari Jepang telah berhasil menemukan vaksin untuk penyakit yang meresahkan masyarakat ini. Vaksin ini diberi nama Bird CLOSE 5.1. Vaksin ini diperoleh melalui rekayasa genetika dari virus penyebab flu burung H5N1 yang dikawinkan dengan virus influenza Puerto Rico yang dapat tumbuh dengan pesat. Virus yang dijadikan sampel dalam pembuatan vaksin ini yaitu virus H5N1 yang ditemukan di daerah Legok, Tangerang, Banten. Zat-zat berbahaya dari virus ini dihilangkan kemudian virus ini dikembangbiakkan dengan cepat. Virus yang sudah tidak berbahaya inilah yang digunakan sebagai vaksin.

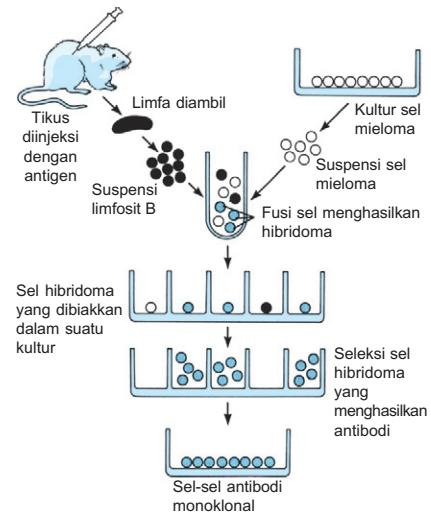
### 3) Antibodi Monoklonal

Teknologi pembuatan antibodi monoklonal diperkenalkan oleh **Kohler** dan **Milstein** pada tahun 1975. Mereka dapat menunjukkan bahwa sel limfosit penghasil antibodi dapat difusikan dengan sel mieloma (kanker). Teknologi ini menggunakan prinsip fusi protoplasma.

Fusi ini menghasilkan sel-sel yang dapat menghasilkan antibodi sekaligus dapat memperbanyak diri secara terus-menerus seperti pada sel-sel kanker. Sel-sel ini menghasilkan antibodi monoklonal. Secara garis besar proses fusi sel antibodi dan sel mieloma (kanker) terlihat pada Gambar 8.10.

Secara sederhana pembuatan antibodi monoklonal sebagai berikut. Kelinci atau tikus terlebih dahulu diinjeksi dengan antigen kemudian limfanya (tempat pembuatan sel darah putih) diambil. Sel-sel limfa ini kemudian difusikan dengan sel mieloma (sel kanker) melalui elektrofusi. **Elektrofusi** adalah fusi secara elektris dengan frekuensi tinggi yang menyebabkan sel-sel tertarik satu sama lain dan akhirnya bergabung (fusi). Sel-sel yang melakukan fusi kemudian diseleksi untuk mengidentifikasi sel gabungan tersebut. Sel-sel ini kemudian diinjeksi ke tubuh hewan. Sel-sel gabungan ini akan membentuk antibodi dalam tubuh hewan. Perhatikan Gambar 8.10 di samping.

Sel gabungan ini dapat dibiakkan ke dalam suatu kultur sehingga menghasilkan antibodi dalam jumlah besar. Antibodi monoklonal dapat digunakan untuk mendeteksi kandungan hormon korionik gonadotropin dalam urine wanita hamil. Dengan demikian, cara ini dapat untuk mendeteksi adanya kehamilan.



Sumber: Biology, Campbell

**Gambar 8.10**

Proses pembuatan antibodi monoklonal melalui rekayasa genetika



## Tugas Mandiri

Carilah informasi di berbagai media cetak maupun media elektronik mengenai penemuan-penemuan bioteknologi dalam bidang kedokteran dan kesehatan. Buatlah laporan secara tertulis, presentasikan, dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

Namun, bagaimanapun juga teknologi seperti halnya dua sisi mata uang. Di satu sisi ia memberikan manfaat, tetapi di sisi lain timbul pula dampak yang tidak diinginkan. Setelah Anda mengetahui penerapan atau aplikasi bioteknologi di berbagai bidang, kini Anda dapat mempelajari dampak yang ditimbulkan.

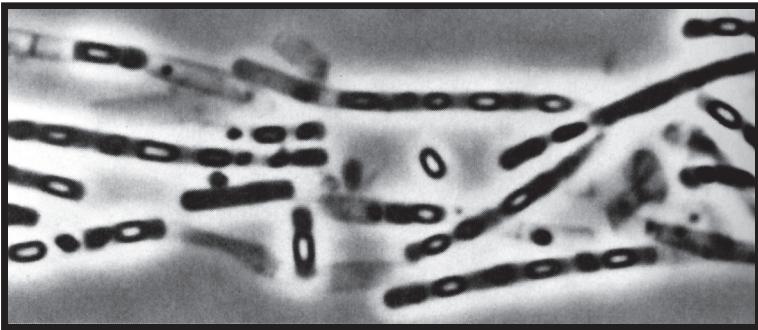
### 2. Dampak Bioteknologi

Bioteknologi, terutama rekayasa genetika diharapkan dapat meningkatkan kesejahteraan manusia. Misalnya pemenuhan kebutuhan gizi, peningkatan taraf kesehatan, produksi pertanian serta peternakan. Bioteknologi juga diharapkan dapat membantu mengatasi masalah-masalah lingkungan terutama pencemaran lingkungan. Namun sejalan dengan aplikasi bioteknologi, ternyata juga menimbulkan permasalahan mengenai dampak dari aplikasi tersebut. Berikut ini akan kita pelajari beberapa dampak bioteknologi.

#### a. Dampak terhadap Lingkungan

Salah satu dampak positif bioteknologi terhadap lingkungan adalah penemuan tumbuhan yang tahan terhadap serangan hama serangga (antiserangga). Dengan diciptakannya tumbuhan antiserangga, paling tidak telah mengurangi pencemaran akibat pemakaian insektisida. Bagaimana cara memperoleh tumbuhan antiserangga tersebut?

Cara untuk memperoleh tumbuhan antiserangga adalah dengan memasukkan gen delta endotoksin *Bacillus thuringiensis* ke dalam tanaman budi daya (Gambar 8.11). Selanjutnya tanaman budi daya akan memproduksi protein delta endotoksin. Protein ini akan bereaksi dengan enzim yang diproduksi oleh lambung serangga. Reaksi ini mengkonversi enzim tersebut menjadi racun. Dengan demikian, serangga yang memakan tanaman tersebut akan mengalami keracunan kemudian mati. Dengan menggunakan metode ini diperoleh tanaman-tanaman yang resistan terhadap berbagai larva maupun serangga yang menyerang tanaman tersebut. Perbandingan pertumbuhan tanaman normal dan tanaman antiserangga dapat Anda lihat pada Gambar 8.12.



Sumber: Biology, Raven & Johnson

**Gambar 8.11**

*Bacillus thuringiensis*, bakteri yang memproduksi protein beracun pada lambung larva serangga dan banyak jenis ulat. Warna putih di sekitar bakteri adalah kristal protein yang akan ditransformasi menjadi toksin apabila bereaksi dengan enzim yang diproduksi dalam lambung larva serangga.



(a)

(b)

Sumber: Biology, Raven & Johnson

**Gambar 8.12**

Eksperimen perbandingan pertumbuhan tanaman.

- Tanaman normal yang terserang ulat sehingga daunnya habis dimakan ulat.
- Tanaman yang dikembangkan melalui rekayasa genetika terlihat tumbuh subur tanpa adanya gangguan ulat pemakan daun.

Pemanfaatan bioteknologi juga diterapkan di tambang-tambang untuk mengurangi pencemaran limbah. Dengan cara ini aktivitas pengolahan bahan tambang dapat ditingkatkan. Biasanya bahan-bahan tambang yang diperoleh tidak dalam keadaan murni, melainkan masih terikat dengan bijihnya (kotoran). Diperlukan berbagai macam bahan kimia untuk memurnikan logam dari bijihnya. Namun, bahan-bahan kimia tersebut kurang efektif dalam memisahkan logam dari bijihnya, sehingga banyak bahan-bahan tambang berkadar



## Tahukah Anda

### Bakteri Pemurni Bahan Tambang

Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* merupakan bakteri khemolitotrof (pemakan batuan) yang mampu memisahkan logam dari bijihnya. Bakteri ini pertama kali ditemukan di pertambangan Virginia tahun 1947. Bakteri ini menggunakan energi kimia dari senyawa anorganik, misalnya dengan mengoksidasi besi sulfida ( $\text{FeS}$ ) menjadi asam sulfat ( $\text{Fe}_2\text{SO}_4$ ). Asam sulfat dan besi sulfat mampu melarutkan logam dari bijihnya.

rendah yang tidak bisa dibersihkan dari bijihnya. Sisa bahan tambang ini kemudian dibuang sebagai limbah. Dengan menggunakan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*, tembaga maupun logam lain telah berhasil diambil kembali dari cairan sisa penambangan. Bakteri ini mengoksidasi belerang yang mengikat tembaga, seng, dan uranium dengan membentuk logam sulfida. Bakteri ini tidak memanfaatkan logam-logam tersebut, melainkan logam-logam itu akan jatuh ke air dan dimanfaatkan kembali oleh manusia. Penggunaan mikroorganisme untuk memurnikan bahan-bahan tambang memunculkan perkembangan disiplin ilmu baru yaitu **Biohidrometalurgi**.

Dua hal tersebut di atas merupakan dampak positif pemanfaatan bioteknologi. Bagaimana dengan dampak negatifnya? Dampak negatif penerapan bioteknologi terhadap lingkungan misalnya penggunaan organisme-organisme hasil rekayasa. Organisme-organisme ini dapat berdampak buruk terutama terhadap kelestarian ekosistem, misalnya pada budi daya tanaman kapas transgenik. Seperti yang telah kita ketahui bahwa kapas ini memproduksi protein delta endotoksin yang dapat dijadikan insektisida alami. Apabila tanaman ini penyerbukannya dibantu oleh burung atau serangga dan secara tidak sengaja serbuk sari tersebut terbawa dan membahayakan tanaman gulma maka gulma tersebut akan menghasilkan protein delta endotoksin. Hal ini akan membahayakan karena tidak ada lagi serangga yang dapat mengendalikan populasinya, sehingga pada akhirnya akan membahayakan tanaman budi daya.

Berbagai organisme baru yang unggul sudah banyak ditemukan sehingga menimbulkan suatu kecenderungan. Kecenderungan ini terutama pada keinginan untuk membudidayakan organisme yang seragam. Hal ini sangat mempengaruhi mekanisme keberagaman alam.

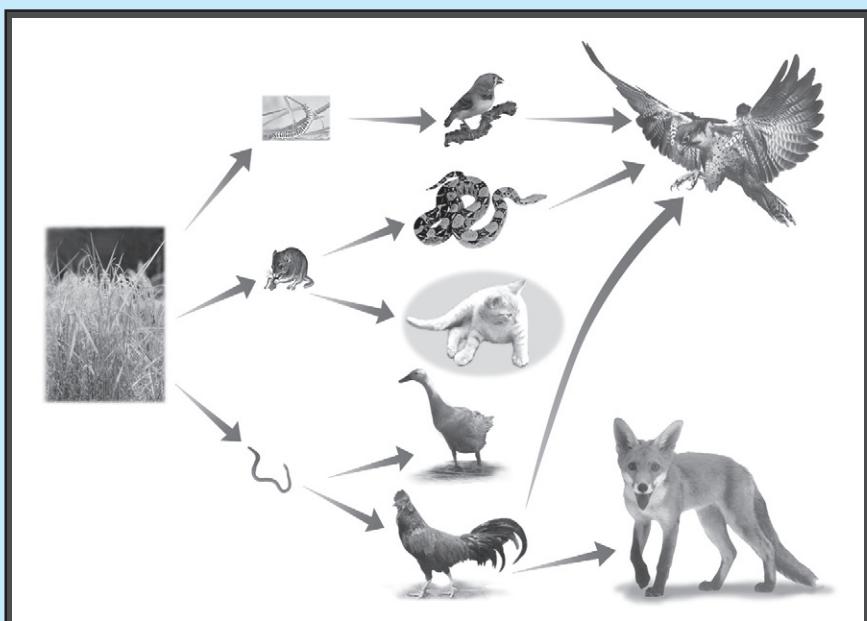
Alam mempunyai keseimbangan sendiri melalui mekanisme adaptasi dan seleksi alam. Hal ini sangat menentukan keberagamannya. Keberagaman tersebut menyebabkan makhluk hidup dapat mempertahankan eksistensinya di alam.

Adanya campur tangan manusia dengan pelepasan dan pembudidayaan makhluk transgenik dalam jumlah melimpah dan seragam (sama) dapat menimbulkan ketidakseimbangan ekosistem. Selain itu, akan mengakibatkan terjadinya pergeseran-pergeseran kelangsungan makhluk hidup, lingkungan, dan ekosistem. Semua ini akan mencapai puncaknya berupa punahnya makhluk hidup dalam rantai ekosistem.



## Tugas Mandiri

Seorang ilmuwan telah berhasil menemukan suatu varietas tanaman padi super melalui teknik rekayasa genetika. Tanaman tersebut mempunyai bulir lebat dan dapat mencapai panen melimpah dalam waktu singkat. Selain itu, tanaman ini juga mempunyai ketahanan terhadap virus, insekta, serta akar yang tahan terhadap cacing pemakan akar karena cacing tersebut akan mati apabila memakannya. Tanaman tersebut juga tahan terhadap serangan tikus karena mengeluarkan aroma yang tidak disukai tikus. Tanaman padi tersebut ditanam dalam waktu serentak di satu daerah pertanian. Sebelum Anda menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut, cermati dengan saksama jaring-jaring makanan berikut.



### Pertanyaan

1. Apa akibatnya jika tidak ada satupun ulat maupun hama terdapat dalam tumbuhan tersebut?
2. Apa yang terjadi pada burung pipit jika tidak dapat hidup di ekosistem tersebut?
3. Bagaimana dengan populasi tikus dan cacing tanah?
4. Apakah perubahan pada populasi tikus, ulat, dan cacing dapat berakibat pula pada populasi ular, pipit, elang, kucing, ayam, dan bebek? Jelaskan.
5. Apa pendapat Anda tentang peristiwa di atas? Sebaiknya apa yang akan Anda lakukan? Bagaimana pendapat Anda tentang keragaman plasma nutfah alami (lokal)?

Tulislah jawaban beserta pendapat Anda kemudian presentasikan di depan kelas.

### **b. Dampak di Bidang Sosial Ekonomi**

Penemuan berbagai teknik yang berbasis pada aplikasi rekayasa genetika, mengakibatkan banyak kalangan industri saling berpacu dan bersaing untuk menemukan varietas-varietas tanaman maupun hewan baru. Penemuan-penemuan ini akan mendominasi pembibitan maupun hasil-hasil pertanian komersial di pasaran. Kalangan industri yang telah berhasil mengembangkan varietas baru tersebut akan mematenkan penemuannya. Hal ini akan membuat terpuruknya nasib petani tradisional.

Produk rekayasa genetika yang mempunyai banyak kelebihan akan merambah dan membanjiri dunia pasar. Produk-produk hasil pertanian maupun peternakan tradisional akan segera tersingkir. Membanjirnya produk-produk hasil rekayasa genetika akan menggusur penghasilan petani maupun peternak kecil.

Peternak maupun petani tradisional yang ingin mengembangkan bibit hasil rekayasa genetika mau tidak mau harus membayar royalti kepada pihak penemu bibit tersebut. Hal ini semakin memperparah keterpurukan nasib petani tradisional.

Semua ini berujung pada kesenjangan dan kecemburuhan dalam masyarakat. Bahkan, banyak petani maupun peternak tradisional yang kehilangan mata pencaharian karena pasar komersial telah dikuasai oleh produk-produk hasil rekayasa genetika yang dikeluarkan oleh industri besar. Selain kesenjangan sosial, penggunaan produk-produk hasil rekayasa genetika akan menimbulkan kesenjangan ekonomi.

### **c. Dampak terhadap Kesehatan**

Produk-produk bioteknologi dalam bidang kesehatan semula sangat diharapkan dapat menanggulangi berbagai macam penyakit. Penemuan produk-produk ini menyebabkan obat-obat maupun hormon yang semula sukar dan sangat mahal dapat terjangkau oleh masyarakat banyak.

Namun, ternyata produk kesehatan hasil rekayasa mempunyai keseimbangan sendiri yang tidak diduga sebelumnya. Keseimbangan tersebut tidak sesuai dengan homeostasis dalam tubuh manusia. Hal ini mengakibatkan timbulnya gejala-gejala lain dari suatu penyakit misalnya terjadi alergi. Sebagai contoh, penggunaan insulin hasil rekayasa genetika menyebabkan 30 orang Inggris meninggal.

Produk-produk bioteknologi melalui rekayasa genetika yang tidak berkaitan langsung dengan kesehatan juga dapat berimbas pada tubuh. Misalnya saja banyak masyarakat mengkhawatirkan pemakaian produk pertanian hasil rekayasa genetika akan menimbulkan permasalahan baru. Kekhawatiran ini telah muncul pada pemakaian tomat *Flavr Savr*. Buah hasil rekayasa genetika ini diketahui mengandung gen resistan terhadap antibiotik. Apabila orang yang mengkonsumsi tomat tersebut terkena infeksi akan susah diobati dengan berbagai antibiotik yang ada.

Penelitian oleh Nordlee dan kawan-kawan pada tahun 1996 berhasil membuktikan kedelai yang mempunyai kandungan metionin tinggi menyebabkan alergi. Pembuktian ini dilakukan melalui uji *skin prick*.



## Forum Diskusi

....

### Belum Bisa Dipercaya

Namun kekhawatiran tetap muncul dari kalangan pemerhati lingkungan seperti Yayasan Keanekaragaman Hayati Indonesia (Kehati). Menurut Anida selaku direktur program yayasan yang dalam kegiatannya banyak melibatkan berbagai institusi ini, proyek transgenik sebagai suatu terobosan teknologi masih perlu dipertimbangkan lebih jauh.

....

Anida berkomentar bahwa Yayasan Kehati saat ini masih belum mengeluarkan persetujuan penggunaan produk transgenik sebab dampak buruknya bagi lingkungan dan manusia masih belum bisa diatasi. "Para ilmuwan sendiri sampai sekarang belum mampu menjamin keamanan hasil transgenik bagi manusia. Bagaimana kami bisa percaya?" tanyanya (mer).

Harian Umum Sore **SINAR HARAPAN**  
Senin, 28 Januari 2002

....

### 3 Kemungkinan menyebabkan bakteri dalam tubuh manusia akan tahan antibiotik

Ada kekhawatiran lain bahwa penggunaan marka tahan antibiotik seperti kanamycin resistant (Kan-R) dalam tanaman transgenik menyebabkan bakteri dalam tubuh menjadi resisten terhadap antibiotik. Kemungkinan bakteri dalam tubuh menjadi resisten karena transfer horizontal gen Kan-R dari tanaman transgenik yang dikonsumsi ke bakteri dalam usus adalah sangat kecil. Gen Kan-R yang ditransfer ke tanaman melalui rekayasa genetika akan terinkorporasi ke dalam genom tanaman, sedangkan tanaman tidak mempunyai mekanisme untuk mentransfer gen yang sudah terinkorporasi ke bakteri. Terjadinya transformasi pada bakteri memerlukan suatu kesamaan homologi yang tinggi antara utas DNA donor dan DNA penerima. Selain itu, gen yang ada pada tanaman berada di bawah komando promotor tanaman yang tidak akan bekerja pada bakteri. Cara yang lebih cepat untuk menjadikan bakteri dalam tubuh resisten terhadap antibiotik adalah dengan mengonsumsi antibiotik yang berlebihan sewaktu orang sedang sakit. Menurut penelitian, manusia diestimasi telah mengonsumsi 1 juta jasad renik tahan kanamycin melalui bahan pangan seperti sayur-sayuran mentah. Di samping itu secara alami 4 trilyun bakteri tahan kanamycin sudah ada dan menghuni usus manusia. Pernah juga dikatakan adanya resistensi terhadap beberapa jenis antibiotika apabila mengonsumsi pangan transgenik.

[http://rudyct\\_tripod.com/sem2\\_012/jaqueline.htm](http://rudyct_tripod.com/sem2_012/jaqueline.htm)

Dari potongan artikel-artikel tersebut terlihat adanya pro dan kontra penggunaan pangan transgenik. Diskusikan bersama kelompok Anda bagaimana pendapat Anda mengenai penggunaan pangan transgenik dan dampaknya bagi kesehatan. Buatlah tulisan yang menarik dari hasil diskusi kelompok Anda. Selanjutnya, Anda dapat menempelkan tulisan tersebut di majalah dinding (mading) sekolah.



## Tahukah Anda

### Apakah Skin Prick Itu?

*Skin prick* adalah uji untuk mengetahui adanya reaksi alergi pada kulit. Uji ini relatif sederhana, cepat, mudah, serta dapat digunakan oleh berbagai usia dan berbagai zat-zat penyebab alergi (alergen). Pada dasarnya uji ini bertujuan untuk mengukur jumlah *immunoglobulin E* (IgE) yang terikat pada sel-sel di kulit. Sel-sel ini disebut dengan sel-sel mast.

Uji ini dilakukan dengan menusuk lengan depan atau punggung penderita menggunakan jarum lancet sambil memasukkan ekstrak maupun larutan alergen. Reaksi positif akan mengakibatkan kulit gatal, merah, kemudian bengkak. Hal ini menunjukkan bahwa orang tersebut tidak mempunyai antibodi tertentu dalam tubuh sehingga timbul gejala ini.

#### d. Dampak Etika Moral

Manusia adalah makhluk yang dikaruniai akal dan pikiran oleh Tuhan YME. Dengan akal ini manusia dapat merekayasa alam agar sesuai dengan apa yang mereka inginkan. Namun, di samping akal yang membedakan manusia dengan ciptaan yang lain, manusia juga dikaruniai etika dan moral.

Secara taksonomis manusia dan Primata lain digolongkan dalam satu familia baik organ maupun sistem organ manusia tidak jauh berbeda dengan Primata. Namun, manusia mempunyai rasa malu, pengertian, toleransi, dan etika yang tidak dimiliki Primata lain. Kelebihan yang dimiliki manusia tersebut menumbuhkan budaya yang merupakan manifestasi dari cipta, rasa, dan karsa yang dimilikinya.

Walaupun manusia mempunyai kemampuan untuk dapat mencipta maupun merekayasa alam, tetapi diharapkan agar manusia dapat bersikap dan bertindak bijaksana. Penyisipan gen baik tumbuhan, hewan, maupun manusia berdampak pada etika. Bagaimanakah jika hewan maupun tumbuhan yang disisipi gen manusia suatu ketika mempunyai perasaan seperti manusia? Tidak ada kemajuan kemanusiaan yang dapat dicapai kalau pengetahuan dan teknologi dikembangkan tanpa etika. Oleh karena itu, pertimbangan etika menjadi kontrol terakhir yang wajib dilakukan.



#### Uji Kompetensi B

Jawablah soal-soal berikut.

1. Sebutkan 2 contoh bahan pangan yang diperoleh melalui proses-proses bioteknologi baik konvensional maupun modern dan sebutkan mikroba yang berperan dalam proses tersebut.
2. Sebutkan penerapan bioteknologi di bidang pertanian dan peternakan beserta contoh-contohnya.
3. Sebutkan penerapan bioteknologi modern di bidang kedokteran dan contoh-contohnya.
4. Sebutkan dampak positif bioteknologi dalam bidang lingkungan.
5. Sebutkan dampak negatif bioteknologi dalam bidang sosial ekonomi.



#### Rangkuman

1. Rekayasa genetika adalah semua proses yang ditujukan untuk menghasilkan organisme transgenik.
2. Prinsip dasar dalam rekayasa genetika
  - a. DNA rekombinan
    - 1) Mengisolasi DNA
    - 2) Transplantasi DNA
    - 3) Memasukkan DNA ke dalam sel hidup
  - b. Fusi protoplasma Penggabungan dua sel dari jaringan yang sama atau dari organisme yang berbeda dalam suatu medan listrik. Fusi protoplasma dapat menghasilkan hibridoma.
  - c. Kultur jaringan Perkembangbiakan vegetatif yang berasal dari sel ataupun jaringan tumbuhan pada suatu media buatan.

3. Penerapan bioteknologi
  - a. Bidang pangan  
Contoh: PST dan mikoprotein
  - b. Bidang pertanian dan peternakan  
Contoh: padi transgenik, buah tahan busuk, tembakau resisten terhadap virus, dan ikan salmon raksasa
  - c. Bidang kedokteran  
Contoh: pembuatan insulin, vaksin, dan antibodi monoklonal
4. Dampak bioteknologi
  - a. Dampak terhadap lingkungan
    - 1). Dampak positif
      - a) Penemuan tumbuhan yang tahan terhadap serangan hama.
      - b) Peningkatan aktivitas pengolahan bahan tambang sehingga mengurangi pencemaran limbah.
    - 2) Dampak negatif
      - a) dapat menyebabkan gulma menjadi resisten sehingga populasinya melimpah
      - b) dapat menimbulkan ketidakseimbangan ekosistem
  - b. Dampak di bidang sosial ekonomi
    - 1) Dampak positif
      - a) Kalangan industri giat mencari tanaman atau hewan varietas baru agar nilai jualnya lebih tinggi.
      - b) Pasar komersial banyak menyediakan produk-produk hasil rekayasa genetika.
    - 2) Dampak negatif  
Terjadi kesenjangan dan kecemburuhan dalam masyarakat karena produk-produk dari petani tradisional mulai tersisih.
  - c. Dampak terhadap kesehatan
    - 1) Dampak positif  
Penemuan-penemuan produk obat atau hormon menyebabkan produk tersebut murah dan mudah didapat oleh masyarakat.
    - 2) Dampak negatif  
Penggunaan produk kesehatan juga dapat menimbulkan gejala-gejala lain dari suatu penyakit, misalnya alergi.
  - d. Dampak etika moral  
Manusia diharapkan dapat bertindak bijaksana dalam merekayasa alam.



## Wawasan Kewirausahaan

### Membuat Nata

*Acetobacter xylinum* dapat ditumbuhkan dalam berbagai substrat, misalnya air kelapa, sari buah nanas, dan air kedelai. *Nata de coco* dihasilkan dari substrat yang berupa air kelapa, *nata de pina* dihasilkan dari air nanas, sedangkan *nata de soya* dihasilkan dari air kedelai, dalam hal ini berupa limbah pembuatan tahu. Lapisan *nata* ini sebenarnya merupakan lapisan eksopolisakarida yang dihasilkan oleh bakteri *A. xylinum*. Dengan demikian tidaklah tepat jika kita menyebutnya dengan sari kelapa, karena sebenarnya yang kita konsumsi adalah bakteri *A. xylinum* yang berkembang biak dan membentuk lapisan eksopolisakarida (lapisan *nata*).

#### A. Tujuan

Membuat *nata* menggunakan salah satu substrat yang mudah diperoleh.

#### B. Alat dan Bahan

1. perlengkapan merebus
2. bak fermentasi
3. kertas penutup
4. tali
5. substrat (dapat berupa air kelapa, air rendaman nanas, dan limbah tahu cair)
6. gula
7.  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  0,06%
8. urea
9. indikator pH

#### C. Cara Kerja

1. Ambil substrat (air kelapa atau air nanas) kemudian masukkan 10 g gula dan 0,06%  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .
2. Panaskan larutan tersebut sambil diaduk agar gula larut secara merata.
3. Setelah semua gula terlarut, dinginkan larutan tersebut.

- Setelah dingin, ukur pH larutan dengan pH indikator. Atur pH dengan menambahkan asam asetat atau asam cuka hingga pH mencapai kisaran 3 sampai 4.
- Tuang larutan tersebut dalam bak fermentasi setinggi 2 cm.
- Selanjutnya tuang starter (bibit bakteri) *A. xylinum* sebanyak 10–20% volume larutan.
- Tutup wadah atau bak dengan menggunakan kertas yang bersih dan diikat rapat-rapat.
- Diamkan (peram) selama 8–10 hari sampai terbentuk lapisan *nata* di permukaan cairan.
- Panen lapisan tersebut dan rendam selama 3 hari dengan air bersih (air diganti tiap hari).
- Tambahkan larutan gula 40% dan rebuslah selama 30–45 menit agar *nata* berasa manis.



## Evaluasi

- A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.
- Ketika membuat yoghurt, kita membutuhkan susu sebagai substrat dan bakteri *S. thermophilus* atau *L. bulgaricus* sebagai agen biologi. Jika bakteri tersebut diganti, kita tidak mendapatkan produk yang kita inginkan. Hal ini terjadi karena ....
    - mikroba yang lain tidak mampu hidup pada substrat susu
    - laktose pada susu tidak dapat dicerna oleh mikroba lain
    - mikroba mempunyai sifat pertumbuhan yang spesifik
    - mikroba mempunyai sifat tidak tahan asam
    - mikroba seperti halnya *Rhizopus oryzae* hidup dalam substrat kedelai
  - Setelah ditemukannya struktur DNA oleh Watson dan Crick pada tahun 1953, terjadi pula perubahan ....
    - pemahaman terhadap genetika
    - bioteknologi hingga tingkat genetik
    - cara memahami sel
    - cara memanipulasi pada bioteknologi modern
    - perlakuan terhadap mikroba
  - Prinsip yang mendasari fusi protoplasma yaitu ....
    - 2 sel dapat tumbuh menjadi 1 individu.
    - susunan gen dalam kromosom dapat diubah dengan memotong dan menyambung gen
    - setiap sel dapat ditumbuhkan menjadi 1 hewan maupun tumbuhan

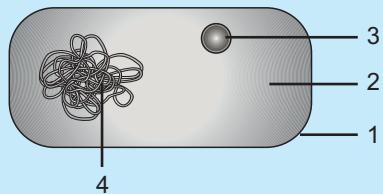
- 2 sel dapat difusikan dari jaringan yang sama, tidak bisa bila dari organisme berbeda
- peleburan sel dari jaringan yang sama maupun organisme berbeda
- Pada dasarnya kultur jaringan sama dengan menanam daun cocor bebek (*Kalanchoe pinnata*), yaitu keduanya ....
  - merupakan teknik penanaman modern
  - memerlukan zat hara (makronutrien dan mikronutrien)
  - sama-sama teknik menumbuhkan tanaman secara cepat
  - memerlukan media yang tepat
  - merupakan cara pembudidayaan secara vegetatif
- Perhatikan pernyataan berikut.
  - Sel dari akar, batang, buah, dan bunga dapat menjadi individu baru.
  - Individu yang dihasilkan mempunyai sifat yang sama persis dengan induknya.
  - Satu sel tanaman dapat tumbuh dari medium buatan.
  - Auksin mampu membentuk massa halus yang belum terdiferensiasi.

Penerapan teknik kultur jaringan dilandasi oleh pernyataan nomor ....

  - 1)
  - 2)
  - 3)
  - 4)
  - 1) dan 2)

6. Berikut merupakan tahapan-tahapan kultur jaringan.
- sel
  - bentuk jantung
  - glabular
  - bentuk torpedo
  - bentuk plantlet (tanaman muda)
  - bentuk kotiledon
- Tahapan pembentukan embrio dari sel somatik dalam kultur jaringan serupa pada perkembangan zigot menjadi embrio berturut-turut dari nomor . . .
- 1) – 3) – 2) – 4) – 6) – 5)
  - 1) – 3) – 2) – 5) – 4) – 6)
  - 1) – 2) – 4) – 6) – 5) – 3)
  - 1) – 2) – 5) – 4) – 3) – 6)
  - 1) – 2) – 3) – 4) – 5) – 6)
7. Enzim ligase dapat berperan sebagai lem biologi pada proses DNA rekombinan karena . . .
- mempunyai struktur kimia yang unik
  - merupakan protein yang sangat lengket
  - dapat menyambung ujung-ujung nukleotida
  - tahan terhadap enzim endonuklease restriksi
  - mempunyai sifat menyambung kromosom
8. Perhatikan tabel berikut.
- | Proses | Menyiapkan Protoplasma | Isolasi DNA | Isolasi Protoplasma | Memotong/ Menyambung DNA | Uji Viabilitas | Fusi | Memasukkan ke Dalam Sel Hidup | Seleksi |
|--------|------------------------|-------------|---------------------|--------------------------|----------------|------|-------------------------------|---------|
| A      | –                      | ✓           | –                   | ✓                        | –              | –    | ✓                             | ✓       |
| B      | ✓                      | –           | ✓                   | –                        | ✓              | ✓    | –                             | ✓       |
| C      | ✓                      | ✓           | –                   | ✓                        | –              | –    | ✓                             | ✓       |
- Berdasarkan data di atas, proses A merupakan rangkaian langkah dalam . . .
- kultur jaringan
  - DNA rekombinan
  - transplantasi gen
  - fusi protoplasma
  - pembuatan medium
9. Transplantasi gen yaitu . . .
- memotong gen yang dimaksud
  - memisahkan gen yang diinginkan
  - penggunaan endonuklease
  - pencangkokan gen ke dalam plasmid
  - memasukkan gen ke dalam enzim
10. Tujuan uji viabilitas yaitu . . .
- mengetahui keberhasilan isolasi
  - menumbuhkan sel-sel hasil fusi
  - mengetahui aktivitas hidup sel
  - menguji protoplasma hasil isolasi
  - memilih sel-sel menurut kemampuan tumbuhnya
11. Fusi protoplasma pada sel hewan sangat berguna terutama setelah berhasil membentuk hibridoma. Hibridoma yaitu . . .
- penyatuan 2 sel dari sel induk yang sama
  - sel yang terbentuk dari radiasi sel kanker
  - sel baru yang dapat membunuh sel-sel kanker
  - penyatuan sel antibodi dan sel limfosit b
  - sel yang terbentuk dari peleburan sel penghasil antibodi dan sel kanker
12. Dalam pembuatan MSG (vetsin), asam glutamat diperoleh melalui . . .
- membran sel bakteri
  - produk yang dihasilkan bakteri
  - perusakan membran sel bakteri
  - substrat yang telah diubah oleh bakteri
  - pengolahan substrat
13. Produksi PST dapat mengurangi pencemaran limbah karena . . .
- produksi PST tidak menghasilkan limbah walaupun dalam skala industri
  - PST bersifat sebagai agen biologis yang dapat membersihkan limbah
  - produksi PST menggunakan substrat dari limbah
  - PST dapat mengurangi limbah dengan cara mengubah limbah menjadi makanan ternak
  - limbah dimanfaatkan sebagai makanan ternak setelah dicampur dengan PST
14. Di antara mikroorganisme berikut yang dimanfaatkan untuk menghasilkan mikoprotein yaitu . . .
- Fusarium graminearum*
  - Saccharomyces cerevisiae*
  - Candida utilis*
  - Spirulina* sp.
  - Rhizopus* sp.

15. Perhatikan skema sebuah bakteri berikut.



Bagian kromosom bakteri dan plasmid secara berturut-turut ditunjukkan oleh nomor . . . .

- a. 1 dan 3
  - b. 2 dan 3
  - c. 2 dan 4
  - d. 3 dan 4
  - e. 4 dan 3
16. *Agrobacterium tumefaciens* dapat dijadikan vektor pada proses DNA rekombinan tumbuhan karena . . . .
- a. *A. tumefaciens* dapat menginfeksi pohon tomat, tembakau, dan buncis
  - b. dapat menginfeksi tumbuhan sehingga terbentuk tumor
  - c. *A. tumefaciens* mempunyai plasmid Ti untuk memotong kromosom tumbuhan
  - d. mempunyai Ti plasmid yang dapat menyatu dengan DNA tumbuhan inang
  - e. Ti plasmid pada *A. tumefaciens* dapat membiakkan diri dan mengalami rekombinasi
17. Tomat *Flavr Savr* tahan terhadap kebusukan karena . . . .
- a. telah disisipi gen ikan salmon sehingga tidak dapat busuk
  - b. telah ditambah gen baru yang kurang sensitif terhadap etilen
  - c. direkayasa agar tidak menghasilkan etilen
  - d. gen penghasil etilen telah dihilangkan
  - e. disilangkan dengan anyelir transgenik
18. Sapi herman adalah sapi transgenik yang telah disisipi gen manusia sehingga dapat menghasilkan susu yang mengandung . . . .
- a. gen lakoferin
  - b. lakoferin
  - c. somatotropin
  - d. bovin somatotropin
  - e. gen somatotropin
19. Pada proses rekayasa genetika enzim yang berperan sebagai lem biologis yaitu . . . .
- a. endonuklease restriksi
  - b. HLF

- c. ligase
- d. lakoferin
- e. Eco-R

20. Setelah fusi dilakukan, untuk mendapatkan antibodi monoklonal yang sesuai harus dilakukan . . . .
- a. pembiakan sel hasil fusi
  - b. penyuntikan antigen
  - c. seleksi sel
  - d. peleburan sel
  - e. pembekuan sel
21. Penggunaan *Bacillus thuringiensis* berdampak positif bagi lingkungan karena . . . .
- a. *B. thuringiensis* menghambat penyebaran hama
  - b. dapat menghasilkan toksin usus serangga berupa delta endotoksin
  - c. menghasilkan protein delta endotoksin yang dapat meracuni jika bertemu enzim di usus serangga
  - d. *B. thuringiensis* memproduksi protein delta endotoksin dan jika disemprotkan pada tanaman membuat serangga akan mati jika memakan daun tersebut
  - e. protein delta endotoksin dapat dicangkokkan pada tanaman sehingga tanaman tersebut dapat terhindar dari berbagai hama
22. Biohidrometalurgi adalah . . . .
- a. penggunaan mikroorganisme untuk mencari sumber bahan tambang
  - b. penggunaan mikrobia dalam membersihkan limbah pertambangan
  - c. disiplin ilmu baru dalam bidang pengolahan tambang
  - d. pemisahan logam dari bijihnya
  - e. pemurnian bahan tambang berkualitas rendah menggunakan mikrobia
23. Obat-obatan produk bioteknologi dapat menimbulkan alergi karena . . . .
- a. mempunyai homeostasis yang tidak sesuai dengan tubuh manusia
  - b. mengandung zat alergen
  - c. mengakibatkan penyempitan pembuluh darah dan saluran pencernaan
  - d. menjadi resistan terhadap antibiotik
  - e. menimbulkan infeksi yang susah diobati menggunakan antibiotik biasa

24. Penelitian-penelitian yang berkaitan dengan rekayasa genetika tidak dapat dilepaskan dari potong-sambung DNA. Pemotongan DNA menggunakan . . . .
- enzim
  - gunting mikro
  - pisau mikro
  - sinar laser
  - sinar-X
25. Organisme transgenik dikhawatirkan akan mengganggu kelangsungan . . . .
- organisme
  - ekosistem
  - sosial ekonomi
  - hayati
  - habitat
- B. Jawablah soal-soal berikut.
- Sebutkan perbedaan bioteknologi modern dengan bioteknologi tradisional.
  - Sebutkan manfaat dilaksanakannya kultur jaringan.
  - Sebutkan langkah-langkah dalam proses DNA rekombinan.
  - Mengapa vektor DNA rekombinan pada tumbuhan sulit ditemukan?
  - Tuliskan langkah-langkah yang dilakukan Beachy dalam pengembangan tembakau tahan virus.
  - Jelaskan dengan skema langkah-langkah dalam pembuatan insulin.
  - Mengapa *Bacillus thuringiensis* dapat memberikan dampak positif terhadap lingkungan?
  - Mengapa *Thiobacillus ferrooxidans* dimanfaatkan untuk meningkatkan efektifitas pertambangan?
  - Jelaskan dampak negatif rekayasa genetika bagi lingkungan.
  - Jelaskan dampak bioteknologi modern terhadap kesehatan.
- C. Berpikir kritis.
- Informasi terkini melaporkan bahwa saat ini sekelompok ilmuwan mengklaim telah menciptakan cip bionik yang ditanam dalam tubuh. Cip tersebut berupa sel yang dijepit oleh tiga lapis silikon. Sel tersebut berperan untuk melengkapi sirkuit elektris. Mereka telah mengembangkan cip mikroelektroporasi dengan memasukkan sel hidup dalam sirkuit elektris. Hal ini seperti menambah gen baru. Lewat cip yang ditanam dalam tubuhnya, manusia tidak perlu lagi berkomunikasi dengan sesamanya lewat suara karena saraf-sarafnya telah dihubungkan dengan komputer. Sehingga materi pembicaraan dapat ditransfer dalam sebuah data. Manusia akan benar-benar berbeda ketika *intelligence machine* telah menggantikan otak dan emosi.
- Pertanyaan:**  
Bagaimanakah pendapat Anda mengenai teks di atas? Apa dampaknya bagi lingkungan, sosial, dan etika moral?



## Refleksi

### Bioteknologi

Pelajari kembali

Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

1. Apakah perbedaan prinsip bioteknologi konvensional dan modern?
2. Sebutkan prinsip dasar rekayasa genetika.
3. Jelaskan langkah-langkah melakukan teknik DNA rekombinan.
4. Jelaskan peranan rekayasa genetika di bidang pangan, pertanian dan peternakan, serta kedokteran.
5. Jelaskan dampak rekayasa genetika terhadap lingkungan.

Jawaban betul < 60%

Jawaban betul  $\geq 60\%$

Selamat . . .!

Anda telah menyelesaikan semua materi pelajaran Biologi di Kelas XII ini. Ingat, sebentar lagi Anda akan menghadapi Ujian Akhir Sekolah. Belajarlah dengan tekun agar Anda lulus ujian.

## Latihan Ulangan Blok 3

- A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.
1. Variasi paruh burung finch di Kepulauan Galapagos disebabkan oleh . . . .
    - a. tempat tinggal
    - b. jenis makanan
    - c. kondisi geografi
    - d. kondisi geografi dan jenis makanan
    - e. seleksi alam
  2. Ilmuwan yang menulis buku berjudul *Principles of Geology* yaitu . . . .
    - a. Charles Robert Darwin
    - b. Thomas Malthus
    - c. Charles Lyell
    - d. Alfred Russel Wallace
    - e. George Cuvier
  3. Di bawah ini merupakan fakta-fakta yang mendukung teori Evolusi, kecuali . . . .
    - a. rekaman fosil
    - b. embriologi perbandingan
    - c. homologi
    - d. organ fungsional
    - e. organ vestigial
  4. Contoh organ homolog yaitu . . . .
    - a. sayap burung dengan sayap kupu-kupu
    - b. kaki depan kucing dengan sayap kupu-kupu
    - c. sirip ikan paus dengan sirip lele
    - d. sayap kelelawar dengan sirip ikan paus
    - e. kaki depan anjing dengan kaki depan kucing
  5. Ilmuwan yang menyatakan bahwa embrio-embrio mengulangi proses evolusi yang dialami nenek moyangnya yaitu . . . .
    - a. Ernest Haeckel
    - b. George Cuvier
    - c. E. Weiderschein
    - d. Charles Lyell
    - e. Thomas Malthus
  6. Jenis kuda yang ada sampai sekarang yaitu . . . .
    - a. *Eohippus*
    - b. *Mesohippus*
    - c. *Merychippus*
    - d. *Equus*
    - e. *Pliohippus*
  7. Setelah revolusi industri, ngengat *Biston betularia* berwarna gelap lebih besar daripada ngengat berwarna cerah. Hal ini disebabkan . . . .
  - a. ngengat berwarna cerah berubah menjadi ngengat berwarna gelap
  - b. ngengat berwarna gelap mampu beradaptasi dengan lingkungannya
  - c. ngengat berwarna gelap cepat bereproduksi
  - d. ngengat berwarna cerah bermigrasi ke tempat lain
  - e. ngengat berwarna cerah tidak banyak ditangkap oleh burung
8. Hukum Hardy-Weinberg tidak berlaku jika . . . .
    - a. terjadi mutasi
    - b. populasi besar
    - c. tidak ada seleksi alam
    - d. terjadi perkawinan secara acak
    - d. tidak ada imigrasi
  9. Dari 100 mahasiswa yang melakukan tes PTC, diketahui bahwa 96 orang mampu merasakan rasa pahit. Jumlah mahasiswa yang diharapkan pengecap homozigot yaitu . . . .
    - a. 80
    - b. 64
    - c. 32
    - d. 16
    - e. 92
  10. Ilmuwan yang menggunakan kaldu sebagai bahan untuk percobaannya yaitu . . . .
    - a. Aristoteles dan Nedham
    - b. F. Redi dan L. Spallanzani
    - c. L. Pasteur dan F. Redi
    - d. L. Pasteur dan A. Oparin
    - e. L. Spallanzani dan Nedham
  11. Menurut Alexander Oparin, substansi asam amino terdiri dari campuran . . . .
    - a. metana, hidrogen, amonia, dan oksigen
    - b. metana, amonia, uap air, dan nitrogen
    - c. amonia, nitrogen, oksigen, dan uap air
    - d. metana, ammonium, hidrogen, dan uap air
    - e. metana, amonia, hidrogen, dan uap air
  12. Ilmuwan yang melakukan eksperimen untuk membuktikan kebenaran teori Harold Urey yaitu . . . .
    - a. Sydney W. Fox
    - b. Alexander Oparin
    - c. Stanley Miller
    - d. Luis Pasteur
    - e. Francesco Redi

13. Rantai DNA yang melingkar di luar kromosom bakteri disebut . . . .  
a. kapsid d. kapsula  
b. plasmid e. sitosol  
c. viral
14. Enzim yang berfungsi untuk memotong DNA yaitu . . . .  
a. DNA polimerase  
b. ligase  
c. protease  
d. endonuklease restriksi  
e. Eco-R
15. Manfaat kultur jaringan yaitu . . . .  
a. memperoleh tanaman baru dalam jumlah banyak dalam waktu yang singkat  
b. memperoleh tanaman baru dalam jumlah banyak dalam waktu lama  
c. menghemat waktu dan biaya  
d. meningkatkan komoditas dalam waktu singkat  
e. memperoleh metabolit sekunder
16. Berikut ini merupakan tahap-tahap rekayasa genetika.  
1) isolasi DNA  
2) pemotongan DNA inang  
3) penyambungan DNA sumber ke DNA inang  
4) pemotongan DNA sumber menjadi DNA tunggal  
5) analisis DNA rekombinan  
Urutan yang benar yaitu . . . .  
a. 1, 2, 3, 4, 5 d. 1, 5, 4, 2, 3  
b. 1, 2, 4, 3, 5 e. 1, 5, 2, 4, 3  
c. 1, 4, 2, 3, 5
17. Pernyataan yang tidak benar tentang hibridoma yaitu . . . .  
a. melibatkan sel limfosit B dan sel kanker  
b. menghasilkan antibodi monoklonal  
c. sel hibridoma yang dihasilkan bisa mengenali semua antigen  
d. penggabungan dua sel dari induk yang berbeda dalam medan listrik  
e. sel hibridoma yang dihasilkan perlu diseleksi
18. Antibodi monoklonal dapat digunakan untuk hal-hal di bawah ini, *kecuali* . . . .  
a. pengujian kehamilan  
b. teknik pengobatan kanker  
c. mengisolasi gen-gen dari organisme penyebab sakit  
d. pengujian *dopping* hormon  
e. mencegah penolakan transplantasi gen
19. Mikroba yang dapat digunakan sebagai sumber PST yaitu . . . .  
a. *Thiobacillus ferrooxidans*  
b. *Agrobacterium tumefaciens*  
c. *Bacillus thuringiensis*  
d. *Candida utilis*  
e. *Lactobacillus laktis*
20. Jenis bakteri yang digunakan untuk meningkatkan aktivitas pengolahan bahan tambang yaitu . . . .  
a. *Agrobacterium tumefaciens*  
b. *Bacillus thuringiensis*  
c. *Thiobacillus ferrooxidans*  
d. *Rhizobium* sp.  
e. *Azotobacter* sp.
21. Hormon Bovin Somatotropin (BST) berguna untuk . . . .  
a. meningkatkan produksi daging  
b. menghasilkan hormon insulin  
c. menghasilkan susu yang mengandung laktofeferin  
d. meningkatkan produksi vaksin  
e. mengurangi produksi susu
22. Teknik rekayasa genetika yang digunakan dalam pembuatan antibodi monoklonal yaitu . . . .  
a. fusi protoplasma d. transplantasi gen  
b. DNA rekombinan e. mikropropagasi  
c. kultur jaringan
23. Salah satu dampak negatif penggunaan rekayasa genetika yaitu . . . .  
a. tanaman menjadi resisten terhadap serangga  
b. pencemaran limbah berkurang  
c. aktivitas pengolahan bahan tambang meningkat  
d. produksi pertanian meningkat  
e. ketidakseimbangan ekosistem
24. Contoh penerapan rekayasa genetika di bidang kedokteran yaitu . . . .  
a. pembuatan antibodi poliklonal  
b. pembuatan vaksin herpes  
c. pembuatan asam amino  
d. pengobatan penyakit hemofili  
e. kemoterapi penyakit kanker
25. *Bacillus thuringiensis* dapat digunakan untuk . . . .  
a. mencegah penularan penyakit  
b. membasmi bakteri  
c. membasmi larva ngengat dan kupu-kupu

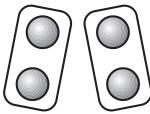
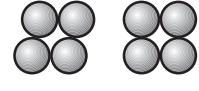
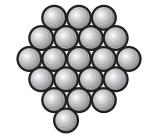
- d. membantu pengolahan bahan tambang  
e. menghasilkan feromon serangga
26. Berikut ini merupakan petunjuk adanya evolusi, *kecuali* . . . .  
 a. embriologi perbandingan berbagai hewan  
 b. data fosil pada berbagai lapisan batuan  
 c. anatomi perbandingan yang bersifat homolog  
 d. domestikasi dengan perkawinan silang  
 e. adanya organ-organ vestigial
27. Keuntungan pembuatan bibit unggul dengan penyinaran radio aktif (mutasi) yaitu . . . .  
 a. tidak menimbulkan kerusakan  
 b. hasilnya pasti  
 c. prosesnya pendek  
 d. prosesnya aman  
 e. sifat unggul diwariskan
28. Suatu populasi terdiri dari 100 orang penduduk, di mana 36% di antaranya wanita buta warna. Jumlah wanita pembawa sifat buta warna yang ada di populasi tersebut . . . orang.  
 a. 60                          d. 24  
 b. 48                          e. 16  
 c. 36
29. Tujuan pemanfaatan sifat totipotensi pada tumbuhan untuk memperoleh . . . .  
 a. bibit unggul yang bergizi tinggi  
 b. anak-anak yang digunakan untuk hibridisasi  
 c. anak-anak yang unggul dalam jumlah besar dan cepat  
 d. anak-anak yang lebih baik daripada induknya  
 e. anak-anak yang seragam dalam jumlah besar dan cepat
30. Produksi antibodi dalam skala besar dapat dilakukan dengan cara . . . .  
 a. hibridoma                      d. DNA rekombinan  
 b. kultur jaringan                e. transplantasi gen  
 c. totipotensi jaringan
31. Hubungan teori evolusi kimia dengan asal-usul kehidupan adalah . . . .  
 a. benda hidup berasal dari benda tidak hidup  
 b. makhluk hidup berasal dari spora kehidupan luar angkasa  
 c. kehidupan diciptakan oleh zat supranatural  
 d. senyawa organik terbentuk di lautan menjadi sisa purba tempat kehidupan pertama  
 e. bahan dasar atmosfer purba oleh reaksi halilintar sehingga terbentuk senyawa makromolekul
32. Organ tubuh manusia yang dianggap sebagai bukti adanya evolusi yaitu . . . .  
 a. tulang ekor dan rambut dada pada pria  
 b. umbai cacing dan buah dada pada pria  
 c. gigi taring runcing dan daun telinga  
 d. otot penggerak telinga dan usus besar  
 e. jari-jari kaki dan geraham belakang
33. PST lebih banyak digunakan sebagai bahan makanan tambahan pada hewan daripada manusia karena . . . .  
 a. tidak mengandung asam amino esensial  
 b. kadar proteinnya rendah  
 c. sukar dicerna oleh manusia  
 d. kadar asam nukleatnya rendah  
 e. produknya tidak mengenyangkan
34. Organisme penghasil interferon dapat diperoleh dengan teknik . . . .  
 a. kultur jaringan  
 b. fusi sel  
 c. transer embrio  
 d. DNA rekombinan  
 e. hibridoma
35. Pada kultur jaringan, hasil pembelahan sel yang belum terdiferensiasi disebut . . . .  
 a. eksplan                          d. plantlet  
 b. kalus                            e. embrio  
 c. kloning
36. Asal-usul kehidupan berdasarkan teori evolusi biologi dinyatakan sebagai . . . .  
 a. proses kehidupan berasal dari lingkungan akuatik  
 b. makhluk hidup penghuni berasal dari kehidupan sebelumnya  
 c. semua kehidupan berasal dari kehidupan sebelumnya  
 d. makhluk hidup dan proses pembentukannya merupakan bagian integral dari perkembangan alam semesta  
 e. pada saat tertentu atmosfer bumi tertutup oleh lapisan gas-gas bahan kehidupan
37. Penerapan bioteknologi untuk mendapatkan varietas-varietas unggul akan menjurus pada . . . .  
 a. meningkatnya jenis hama tanaman  
 b. meningkatnya keanekaragaman genetik  
 c. meningkatnya keanekaragaman ekologi  
 d. menurunkan kualitas produk pertanian  
 e. menurunkan kualitas lingkungan

38. Pernyataan berikut ini yang sesuai dengan teori Lamarck adalah . . . .
- seleksi terhadap tumbuhan ataupun hewan merupakan cara untuk memperoleh bibit unggul
  - adaptasi merupakan salah satu mekanisme seleksi alam
  - radiasi merupakan salah satu terjadinya mutasi
  - evolusi adalah gejala seleksi alam terhadap faktor genetik
  - sifat bawaan suatu individu dipengaruhi langsung oleh keadaan lingkungan
39. Perhatikan tabel berikut.

Mikroorganisme	Produknya
1. <i>Spirulina</i> sp.	protein sel tunggal
2. <i>Lactobacillus</i> sp.	keju
3. <i>Methylophilus</i> sp.	protein tambahan
4. <i>Streptococcus</i> sp.	yoghurt
5. <i>Pediococcus</i> sp.	osis kering

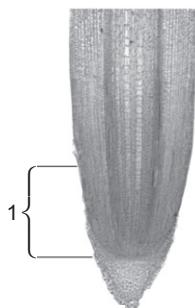
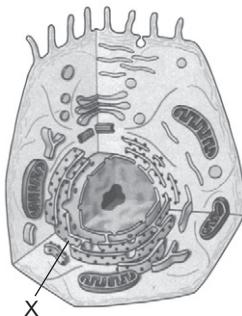
- Mikroorganisme yang berperan mengubah bahan makanan menjadi makanan baru adalah . . . .
- 1 dan 3
  - 1 dan 4
  - 2 dan 4
  - 2 dan 5
  - 3 dan 5
40. Berikut ini merupakan peranan bakteri dalam pemisahan logam.
- Thiobacillus ferrooxidans* tumbuh pada lingkungan yang mengandung zat organik
  - Thiobacillus ferrooxidans* adalah salah satu spesies kemolitotrof (bakteri pemakan batu)
  - bakteri kemolitotrof memperoleh energi dari oksidasi zat organik
  - para penambang mineral melakukan pembiakan murni terhadap *Thiobacillus ferrooxidans* untuk pemisahan logam murni
- Pernyataan yang benar ditunjukkan oleh nomor . . . .
- 1) dan 2)
  - 1) dan 3)
  - 1) dan 4)
  - 2) dan 3)
  - 2) dan 4)
- B. Jawablah soal-soal berikut.
- Jelaskan mengenai fenomena yang mengilhami Darwin untuk menciptakan teori Evolusi.
  - Sebutkan bukti-bukti yang mendukung teori Evolusi.
  - Jelaskan mekanisme Evolusi berdasarkan seleksi alam.
  - Sebutkan syarat-syarat berlakunya hukum Hardy-Weinberg.
  - Bagaimanakah percobaan yang dilakukan oleh Luis Pasteur untuk membuktikan teori Biogenesis?
  - Jelaskan tentang hipotesis yang mendasari teori Abiogenesis.
  - Jelaskan teori Evolusi zarafah menurut Lamarck dan Darwin.
  - Mengapa fosil kuda dianggap sebagai bukti evolusi yang paling baik?
  - Berikan contoh akibat mutasi gen yang menguntungkan.
  - Pada suatu desa yang berpenduduk 10.000 jiwa terdapat 16 orang yang menderita albino. Berapakah frekuensi gen pembawa albino dalam populasi tersebut?
  - Apakah yang dimaksud dengan organisme transgenik?
  - Jelaskan proses pembentukan antibodi monoklonal.
  - Berikan tiga contoh penerapan rekayasa genetika di bidang pertanian dan peternakan.
  - Jelaskan dampak rekayasa genetika terhadap kesehatan.
  - Sebutkan perbedaan prinsip dasar bioteknologi konvensional dan modern.
  - Jelaskan prinsip dasar DNA rekombinan.
  - Jelaskan keuntungan plasmid bakteri sebagai vektor dalam rekayasa genetika.
  - Sebutkan dampak positif rekayasa genetika terhadap lingkungan.
  - Jelaskan tahapan-tahapan dalam teknik kultur jaringan.
  - Sebutkan keunggulan-keunggulan PST sebagai sumber protein dan berikan contoh mikroba yang berperan di dalamnya.

# Latihan Ujian Akhir Sekolah

- A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.
- Ilmu mempelajari tumbuhan yang biasa digunakan dalam bidang pertanian, farmasi, dan kultur jaringan yaitu . . . .
    - Mikrobiologi
    - Entomologi
    - Botani
    - Zoologi
    - Genetika
  - Para ilmuwan telah mampu menciptakan beberapa bibit unggul tanaman budidaya untuk memperbaiki kualitas tanaman dengan memanfaatkan . . . .
    - keanekaragaman hayati
    - keanekaragaman gen
    - biodiversitas
    - plasma nutfah
    - domestikasi
  - Ciri khas virus yang *tidak* terdapat pada organisme lain yaitu . . . .
    - mempiliki DNA dan RNA
    - bersifat parasitik
    - hanya dapat berbiak dalam sel hidup
    - merupakan organisme satu sel
    - bentuknya beranekaragam
  - Bakteri stafilocokus ditunjukkan oleh gambar . . . .
    - 
    - 
    - 
    - 
    - 
  - Kerangka anggota Protozoa yang dapat memberi petunjuk adanya minyak bumi di lautan berasal dari filum . . . .
    - Ciliophora
    - Foraminifera
    - Sporozoa

- Heliozoa
  - Zoomastigophora
- Penyakit rebah semai yang menyerang tanaman pada persemaian yang tanahnya sangat lembap disebabkan oleh jamur . . . .
    - Phytophtora faberi*
    - Phytophtora infestans*
    - Aspergillus flavus*
    - Phytium* sp.
    - Saprolegnia* sp.
  - Urutan yang tepat untuk pergiliran generasi pada tumbuhan lumut yaitu . . . .
    - spora → protonema → embrio → anteridium dan arkegonium → tumbuhan lumut
    - spora → protonema → tumbuhan lumut → anteridium dan arkegonium → embrio
    - embrio → protonema → spora → tumbuhan lumut → anteridium dan arkegonium
    - embrio → tumbuhan lumut → spora → protonema → anteridium dan arkegonium
    - protonema → spora → tumbuhan lumut → anteridium dan arkegonium → embrio
  - Nautilus* sp. merupakan salah satu perkecualian dari kelas Cephalopoda karena . . . .
    - mempunya daya regenerasi tinggi
    - tidak mempunyai tentakel
    - mempunyai kantong tinta
    - mempunyai cangkang luar
    - cangkang terdapat dalam tubuh
  - Kompetisi antara dua spesies organisme untuk mendapatkan *niche* ekologi yang sama pada umumnya menghasilkan . . . .
    - kedua spesies tersebut akan membagi 2 *niche* secara merata
    - salah satu spesies akan mengambil alih seluruh *niche* ekologi
    - kedua spesies akan meninggalkan *niche* ekologi
    - akan terjadi *interbreeding* di antara kedua spesies tersebut
    - salah satu spesies akan beradaptasi

10. Pemakaian pestisida secara terus-menerus dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan yaitu . . . .
- menurunnya populasi serangga
  - meluasnya distribusi serangga
  - meningkatnya hasil panen
  - resistansi serangga terhadap pestisida
  - keanekaragaman serangga menurun
11. Kloning domba Dolly dilakukan dengan cara transplantasi . . . .
- gen dari sel telur domba ke sel ambing susu domba itu sendiri
  - gen dari sel ambing susu domba ke sel telur domba itu sendiri
  - inti sel telur domba ke inti sel ambing susu domba itu sendiri
  - inti sel ambing susu domba ke inti sel telur domba itu sendiri
  - gen dari sel ambing susu domba ke gen dari sel telur domba itu sendiri
12. Organel X pada gambar di samping berfungsi sebagai . . . .
- pengubah secara kimia dan men-transfer materi-materi di dalamnya
  - katalisator dalam menguraiakan materi-materi di dalamnya
  - pengurai molekul-molekul organik secara biologis
  - pelindung dan penunjang sel
  - tempat terjadinya sintesis protein
13. Pada gambar penampang ujung akar di samping, di daerah bernomor 1 terjadi kegiatan yang dominan yaitu . . . .
- pembelahan sel
  - pemanjangan sel
  - diferensiasi sel
  - penyimpanan makanan
  - pembentukan percabangan
14. Tulang disebut alat gerak pasif sebab . . . .
- sebagai tempat melekatnya otot rangka
  - saling berhubungan membentuk sendi
  - tidak mempunyai kemampuan berkontraksi



- sebagai tempat pembentukan sel-sel darah
- merupakan penopang dan penunjang bentuk tubuh

15. Perhatikan tabel berikut.

No.	Jaringan	Fungsi
1.	Otot lirik	Ekskresi
2.	Kartilago hialin	Proteksi
3.	Epitelium silindris selapis	Cadangan makanan
4.	Epitelium kelenjar	Sekresi
5.	Saraf	Koordinasi

Hubungan yang benar antara jaringan dengan fungsinya yaitu . . . .

- 1 dan 2
- 1 dan 5
- 2 dan 3
- 3 dan 4
- 4 dan 5

16. Orang yang bergolongan darah O tidak boleh mendapat transfusi darah dari orang yang bergolongan A sebab . . . .

- di dalam plasma darah golongan O terdapat antibodi  $\alpha$  yang akan menggumpalkan eritrosit golongan darah A
- antigen A yang terdapat dalam plasma golongan darah O akan menggumpalkan eritrosit golongan A
- dalam plasma darah golongan O tidak terdapat antigen A yang akan menggumpalkan eritrosit golongan A
- dalam plasma darah golongan A terdapat antigen A yang akan merusak antibodi  $\alpha$  pada golongan darah O
- dalam plasma darah golongan A tidak terdapat antibodi  $\alpha$  yang sesuai dengan antibodi  $\alpha$  dalam darah golongan O

17. Pembuluh darah yang membawa molekul larutan makanan langsung dari usus halus ke hati yaitu . . . .

- aorta
- arteria hepatica
- vena portal hepatica
- vena hepatica
- vena kava

18. Bila Anda memakan sesendok nasi dan mengunyahnya cukup lama, Anda akan merasakan rasa manis. Hal ini disebabkan karbohidrat diubah menjadi . . . .

- a. sukrosa oleh sukrase  
 b. maltosa oleh maltase  
 c. glukosa oleh amilase  
 d. laktosa oleh laktase  
 e. glukosa oleh lipase
19. Pada sapi, makanan sebelum memasuki bagian lambung yang dinamakan omasum dilakukan pencernaan lebih dahulu pada bagian . . .  
 a. rumen saja  
 b. retikulum saja  
 c. abomasum  
 d. rumen dan retikulum  
 e. retikulum dan abomasum
20. Peredaran  $O_2$  ke seluruh tubuh pada katak dewasa dilakukan oleh . . .  
 a. arteri pulmokutanea  
 b. vena pulmokutanea  
 c. arteri kutanea  
 d. vena kutanea  
 e. vena pulmonalis
21. Pada proses pernapasan, bila otot antartulang rusuk relaksasi, volume rongga dada . . .  
 a. mengecil, tekanan udara di paru-paru membesar, udara keluar  
 b. membesar, tekanan udara dalam paru-paru mengecil, udara masuk  
 c. mengecil, tekanan udara di paru-paru mengecil, udara keluar  
 d. mengecil, tekanan udara dalam paru-paru mengecil, udara masuk  
 e. membesar, tekanan udara dalam paru-paru mengecil, udara keluar
22. Bila pada tes urine seseorang dengan menggunakan reagen biuret diperoleh warna ungu, dapat diduga bagian ginjal yang mengalami kelainan yaitu . . .  
 a. glomerulus  
 b. kapsula Bowman  
 c. badan Malpighi  
 d. tubulus kontortus  
 e. vesika urinaria
23. Hewan yang mempunyai alat ekskresi berupa nefridia di setiap ruas tubuhnya yaitu . . .  
 a. *Planaria*  
 b. cacing tanah  
 c. serangga  
 d. udang  
 e. belalang
24. Hormon yang berperan dalam mengendalikan pertukaran kalsium dan fosfor dalam darah dihasilkan oleh kelenjar . . .  
 a. tiroid  
 b. paratiroid  
 c. hipofisis  
 d. adrenal  
 e. pankreas
25. Perhatikan tahapan proses pembuahan berikut.  
 1) Terbentuk buluh serbuk sari.  
 2) Terbentuk beberapa embrio (poli-embrioni).  
 3) Sperma membuahi sel telur.  
 4) Terjadi satu kali pembuahan.  
 5) Terbentuk zigot yang diploid.
- Perbedaan pembuahan tunggal dengan pembuahan ganda terdapat pada pernyataan nomor . . .  
 a. 1) dan 3)  
 b. 1) dan 5)  
 c. 2) dan 4)  
 d. 2) dan 5)  
 e. 3) dan 4)
26. Perhatikan data hasil pengamatan transpirasi di bawah ini.

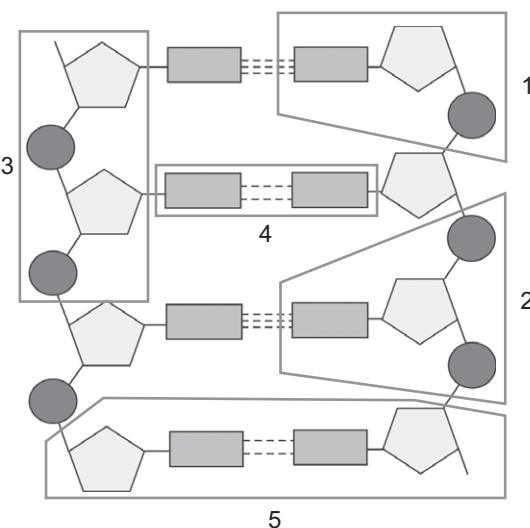
Tempat (Keadaan)	Waktu Tiap 5 Menit	Rata-Rata Laju Transpirasi	Suhu (0°C)	Kelembapan (%)
Terang (Terbuka)	I II III	0,04 mL 0,06 mL 0,10 mL	24°C	80
Teduh (Tertutup)	I II III	0,02 mL 0,04 mL 0,09 mL	25°C	90

Berdasarkan data hasil percobaan di atas dapat disimpulkan bahwa laju transpirasi tercepat tercapai pada keadaan . . .  
 a. suhu rendah, kelembapan tinggi, tempat terang  
 b. suhu rendah, kelembapan rendah, tempat terang  
 c. suhu rendah, kelembapan tinggi, tempat teduh  
 d. suhu tinggi, kelembapan rendah, tempat terang  
 e. suhu tinggi, kelembapan rendah, tempat teduh

27. Salah satu cara yang dilakukan untuk memperoleh kekebalan secara aktif yaitu ....
- antibodi
  - antigen
  - imunitas
  - imunisasi
  - sistem imun
28. Perhatikan tabel berikut.
- | Imun Nonspesifik        |  | Imun Spesifik     |
|-------------------------|--|-------------------|
| Pertahanan Pertama      | Pertahanan Kedua                               | Pertahanan Ketiga |
| Kulit<br>Membran mukosa | X<br>Protein anti mikroba<br>Reaksi peradangan | Limfose<br>Y      |
- Berdasarkan tabel sistem imun di atas, X dan Y berupa ....
- sel fagosit dan eritrosit
  - otot dan leukosit
  - kulit dan antibodi
  - leukosit dan eritrosit
  - sel fagosit dan antibodi
29. Jika luka menyebabkan pembuluh robek, mastosit akan menghasilkan ....
- sel leukosit
  - sel fagosit
  - histamin
  - protein antimikroba
  - membran mukosa
30. Perhatikan ciri-ciri sel berikut.
- Bentuknya tetap.
  - Bentuknya tak beraturan.
  - Berukuran besar.
  - Membunuh bakteri dengan memakannya.
- Makrofag disebut juga big eaters karena memiliki ciri-ciri ....
- 1), 2), dan 3)
  - 1), 2), dan 4)
  - 1), 3), dan 4)
  - 2), 3), dan 4)
  - 1) dan 4)
31. Bakteri yang sudah berada dalam makrofag dihancurkan oleh enzim ....
- lisosom
  - lipase
  - lisozim
  - ptialin
  - pepton
32. Perhatikan beberapa fungsi hormon di bawah ini.
- Merangsang perkecambahan biji dan tunas.
  - Menghambat penuaan.
  - Merangsang pembungaan dan perkembangan buah.
  - Mempengaruhi pertumbuhan dan differensi akar.
  - Merangsang pertumbuhan buah.
- Fungsi hormon giberelin terdapat pada pernyataan nomor ....
- 1), 2), dan 3)
  - 2), 4), dan 5)
  - 1), 3), dan 4)
  - 3), 4), dan 5)
  - 2), 3), dan 4)
33. Pembelahan sel secara meiosis dengan ciri-ciri sebagai berikut.
- Kromosom homolog yang berada pada bidang equator bergerak dan memisahkan diri satu dengan yang lainnya.
  - Masing-masing kromosom menuju kutub yang berlawanan.
  - Spindel dan seluruh isi sel agak memanjang.
- Pembelahan sel di atas terjadi pada fase ....
- profase I
  - anafase I
  - metafase I
  - telofase I
  - interfase I
34. Pusat pengumpulan energi yang terbesar di dalam sel pada waktu berlangsungnya proses pembelahan sel terdapat pada ....
- interfase
  - profase
  - metafase
  - anafase
  - telofase
35. Pernyataan-pernyataan dalam tabel berikut ini benar mengenai mitosis dan meiosis, *kecuali* ....

	Mitosis	Meiosis
a.	Bertujuan memperbaik jumlah sel untuk pertumbuhan dan untuk mengganti sel yang telah rusak	Bertujuan untuk mengurangi jumlah kromosom agar pada generasi selanjutnya tetap
b.	Pembelahan selnya hanya satu kali	Pembelahan selnya terjadi berkali-kali
c.	Terjadi pada sel tubuh atau sel soma	Terjadi pada sel kelamin (gamet)
d.	Sel diploid menjadi sel haploid	Sel diploid menjadi sel haploid
e.	Mengalami profase, metafase, anafase, dan telofase	Mengalami profase, metafase, anafase, dan telofase

36.



Pada diagram segmen molekul DNA di atas, bagian yang menunjukkan nukleotida yaitu . . .

- a. 1 d. 4
- b. 2 e. 5
- c. 3

37. Seekor tikus betina mempunyai 40 kromosom dalam setiap sel somatisnya. Berarti pada setiap sel telurnya terkandung kromosom . . .

- a. 19 autosom + 1 gonosom-X
- b. 19 autosom + 1 gonosom X atau Y
- c. 19 pasang autosom + 1 pasang gonosom-X
- d. 38 autosom + 1 gonosom-X + 1 gonosom-Y
- e. 18 autosom + 2 gonosom-X

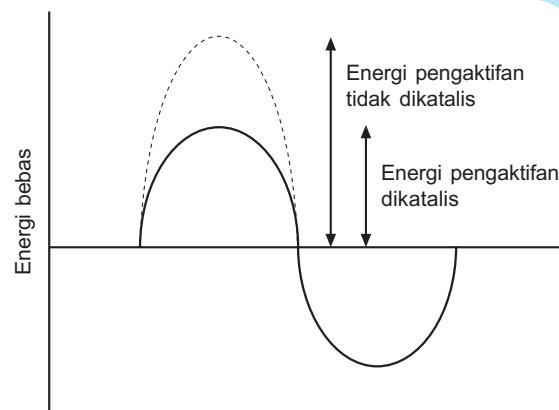
38. Di bawah ini tahapan-tahapan sintesis protein.

- 1) mRNA meninggalkan DNA menuju ke ribosom.
- 2) DNA melakukan transkripsi sehingga terbentuk mRNA.
- 3) Asam amino berderet sesuai dengan kode pembentukan protein.
- 4) tRNA menerjemahkan kodon yang dibawa mRNA.
- 5) Protein yang terbentuk merupakan enzim yang mengatur metabolisme sel.
- 6) tRNA mencari dan membawa asam amino yang sesuai dengan kodon yang dibawa tRNA.

Urutan tahapan sintesis protein yaitu . . .

- a. 1) – 2) – 4) – 5) – 6) – 3)
- b. 1) – 2) – 5) – 4) – 6) – 3)
- c. 2) – 1) – 3) – 4) – 5) – 6)
- d. 2) – 1) – 4) – 6) – 3) – 5)
- e. 2) – 1) – 4) – 6) – 5) – 3)

39.



Perhatikan grafik hubungan antara aktivasi sel dengan enzim di atas. Fungsi katalisator berdasarkan grafik tersebut yaitu . . .

- a. tidak mempengaruhi aktivitas sel sehingga reaksi kimia relatif tetap
  - b. mengurangi energi aktivasi yang diperlukan sehingga reaksi kimia dapat berlangsung cepat
  - c. meningkatkan energi aktivasi yang diperlukan sehingga reaksi kimia berlangsung lambat
  - d. meningkatkan suhu dalam sel sehingga aktivasinya menjadi tinggi
  - e. menghambat jalannya reaksi kimia pada suhu rendah
40. Tiga hasil terpenting dari peristiwa glikolisis pada proses respirasi yaitu . . .
  - a. asam laktat, asam amino, dan ATP
  - b. asam laktat, asam piruvat, dan ATP
  - c. asam laktat, NADH, dan glukosa
  - d. asam piruvat, glukosa, dan ATP
  - e. asam piruvat, NADH, dan ATP
41. Pembentukan oksigen pada proses fotosintesis terjadi pada tahapan . . .
  - a. reaksi terang
  - b. reaksi gelap
  - c. siklus Calvin
  - d. fotosistem I
  - e. fotosistem II
42. Pegubahan nitrit menjadi nitrat dengan persamaan reaksi,  $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{Energi}$  dilakukan oleh . . .
  - a. *Acetobacter*
  - b. *Nitrosomonas*
  - c. *Nitrobacter*
  - d. *Azotobacter*
  - e. *Nitrococcus*

38. Diagram berikut menunjukkan penurunan sifat albino dalam suatu keluarga. Albinisme disebabkan oleh alel resesif.



**Keterangan:**

- ◻ laki-laki albino
- perempuan normal
- ▨ laki-laki normal

Genotip apakah yang dimiliki oleh kedua orang tua tersebut (1 dan 2)?

	1	2
a.	Heterozigot	Heterozigot
b.	Heterozigot	Homozigot dominan
c.	Homozigot dominan	Heterozigot
d.	Homozigot dominan	Homozigot dominan
e.	Homozigot resesif	Homozigot dominan

39. Sepasang suami istri memiliki golongan darah berbeda. Suami bergolongan darah B, sedang istri bergolongan darah A. Anak pertama mereka bergolongan darah O. Mereka berencana mempunyai anak lagi. Genotip yang tidak mungkin dimiliki oleh anak kedua yaitu . . .

- a. IAIA
- b. IAIB
- c. IAIO
- d. IOIB
- e. IOIO

40. Persilangan lalat buah jantan abu-abu sayap panjang heterozigotik dengan lalat buah betina hitam sayap pendek diperoleh keturunan 965 individu abu-abu sayap panjang, 944 hitam sayap pendek, 206 hitam sayap panjang dari jumlah keseluruhan 2.300 ekor. Berapa jumlah individu abu-abu sayap pendek jika nilai pindah silangnya adalah 17%?

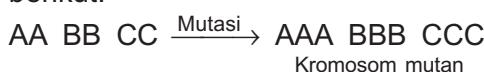
(Keterangan: P = sayap panjang, p = sayap pendek, H = abu-abu, h = hitam. Kedua gen tersebut terletak pada satu kromosom.)

- a. 21 ekor
- b. 185 ekor
- c. 206 ekor
- d. 944 ekor
- e. 965 ekor

41. Pada gandum gen H (hitam) epistasis terhadap gen K (kuning). Apabila kedua gen H dan K tidak muncul, gandum memperlihatkan fenotip putih. Bila gandum hitam (HHkk) disilangkan dengan gandum kuning (hhKK), kemudian  $F_1$ -nya disilangkan sesamanya, maka akan dihasilkan gandum hitam, kuning, dan putih dengan rasio . . .

- a. 12 : 1 : 3
- b. 12 : 3 : 1
- c. 9 : 4 : 3
- d. 9 : 3 : 4
- e. 3 : 1 : 12

42. Perhatikan perubahan set kromosom (euploid) berikut.



Peristiwa mutasi dan jumlah kromosom yang terbentuk adalah . . .

	Tipe Ploid	Formula Kromosom
a.	Nonaploid	9n
b.	Heksaploid	6n
c.	Tetraploid	4n
d.	Triploid	3n
e.	Diploid	2n

43. Rantai mRNA (kodon) dengan susunan:

GCC CGC UGU CAC AAG GUU GCU

Setelah mengalami mutasi menghasilkan rantai mRNA dengan susunan sebagai berikut.

GCC CGC UGU CAC AAC GUU GCU

Perubahan yang terjadi di atas disebut . . .

- a. duplikasi
- b. inversi
- c. substitusi
- d. delesi
- e. insersi

44. Sindroma Turner terjadi karena *nondisjunction* pada kromosom . . .

- a. seks induk jantan
- b. seks induk betina
- c. seks induk jantan atau betina
- d. somatisik induk jantan
- e. somatisik induk betina

45. Pernyataan yang tepat tentang evolusi menurut Darwin dan Robert Malthus yaitu . . .

	Darwin	Robert Malthus
a.	Sifat individu diwariskan secara terus-menerus	Sifat individu akan menyesuaikan dengan lingkungan
b.	Jumlah populasi akan berjalan terus	Populasi akan terhenti pada masanya
c.	Bertambahnya populasi tidak berlangsung terus-menerus	Kenaikan jumlah penduduk lebih cepat dari kenaikan produksi pangan
d.	Proses evolusi akan terhenti pada masanya	Proses evolusi akan berjalan terus-menerus
e.	Sifat pada populasi akan berubah sesuai dengan masanya	Sifat pada populasi akan tetap sepanjang masa

46. Tabel di bawah ini menjelaskan ciri berbagai fosil manusia.

Fosil/ Ciri	I	II	III
1.	Volume otak $\pm 600 \text{ cm}^3$	Volume otak $\pm 1.000 \text{ cm}^3$	Volume otak $\pm 1.200 \text{ cm}^3$
2.	Berjalan dengan kedua kaki	Dapat membuat perkakas	Dapat membuat senjata untuk berburu
3.	Dapat berdiri tegak	Diperkirakan dapat berbicara	Sudah mengenal api

Ciri yang sesuai untuk kelompok manusia di bawah ini yaitu . . . .

- a. I untuk *Pithecanthropus erectus*
- b. II untuk *Australopithecus africanus*
- c. III untuk *Sinanthropus pekinensis*
- d. III untuk *Megantropus paleojavanicus*
- e. II untuk *Neanderthalensis*

47. Perkembangan evolusi kuda merupakan contoh terlengkap untuk mempelajari adanya evolusi. Fosil yang ditemukan paling tua terdapat pada zaman . . . .

- a. Pleistosen d. Oligosen
- b. Pliosen e. Eosen
- c. Miosen

48. Pemuliaan tanaman untuk mendapatkan bibit unggul dengan cara memindahkan gen tertentu dari spesies lain dengan perantaraan mikroorganisme dikenal sebagai . . . .

- a. kultur jaringan
- b. rekayasa genetika
- c. transplantasi
- d. radiasi induksi
- e. mutasi buatan

49. Hubungan yang benar antara jenis makanan hasil fermentasi dengan mikroorganisme yang melakukannya yaitu . . . .

Jenis Makanan	Mikroorganisme yang Melakukan
a. Yoghurt	<i>Lactobacillus lactis</i>
b. Tauco	<i>Aspergillus soyae</i>
c. Brem Bali	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
d. Mentega	<i>Streptococcus thermophilus</i>
e. Nata de coco	<i>Acetobacter xylinum</i>

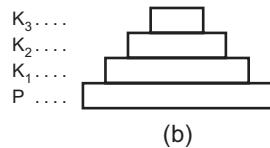
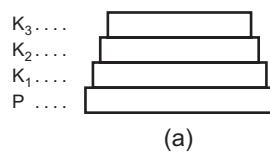
50. Salah satu cara pemanfaatan bioteknologi dalam bidang kedokteran yaitu menyambungkan . . . .

- a. DNA bakteri ke dalam pankreas manusia
- b. kromosom bakteri ke dalam DNA manusia
- c. gen yang memproduksi insulin ke dalam DNA bakteri
- d. DNA virus ke dalam DNA bakteri
- e. gen virus ke dalam gen bakteri

B. Jawablah soal-soal berikut.

1. Mengapa virus tidak digolongkan ke dalam kelompok makhluk hidup?

2. Perhatikan gambar berikut.



Jelaskan dan bandingkan antara piramida energi (a) dan (b).

3. Mengapa sel disebut sebagai unit fungsional makhluk hidup?

4. Sebutkan mekanisme kerja indra penglihat dalam melihat benda.

5. Apakah beda antara penyerbukan (polinasi) dengan fertilisasi?

6. Sebutkan perbedaan pembelahan mitosis dengan meiosis.

7. Bagaimana cara bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* mendapatkan energi?

8. Seorang wanita pembawa hemofilia menikah dengan pria normal. Berapa prosentase anak yang mengalami hemofilia?

9. Apa yang dimaksud mutasi gen? Apakah mutasi alami berbeda dengan mutasi buatan?

10. Apakah konsep dasar dilakukannya transplantasi gen?



## Glosarium

**Abdomen:** bagian tubuh vertebrata yang meliputi perut, usus, dan rongga tubuh lainnya.

**Alzemeir:** kelainan atau gangguan pada otak yang menyebabkan berkurangnya kemampuan ingatan, kemampuan berbahasa, dan kemampuan menjaga diri. Alzemeir biasanya diderita oleh lansia.

**Aktivator:** zat penggiat kerja enzim.

**Anabolisme:** disebut juga biosintesis, yaitu reaksi pembentukan atau sintesis dari molekul sederhana menjadi molekul kompleks.

**Antigen:** zat yang dapat merangsang pembentukan antibodi jika diinjeksikan ke tubuh.

**Antosianin:** kumpulan zat warna tanaman yang berwarna merah, biru, dan lembayung.

**Aster:** struktur menyerupai bintang yang tersusun atas mikrotubulus di kutub pembelahan.

**Atropi:** penyusutan volume, misalnya atropi otot-otot mengecil karena tidak berolahraga.

**Biokatalisator:** pemercepat reaksi pada proses-proses biologis.

**Bivalen:** pasangan kromosom homolog.

**Deaminasi:** penghilangan gugus amin pada asam amino.

**Degenerasi:** mengalami kemunduran biologis.

**Denaturasi:** perubahan yang terjadi pada molekul-molekul protein akibat perubahan suhu dan pH yang ekstrim.

**Dimer:** gabungan atau ikatan dua molekul yang sejenis.

**Domestikasi:** proses penjinakan makhluk hidup dari lingkungan (alam bebas) menuju alam terbatas, misalnya dalam kerangkeng.

**Ekuator:** bagian tengah.

**Eksergonik:** reaksi yang menghasilkan energi bebas.

**Elektroporasi:** perlakuan listrik dengan voltase tinggi yang menyebabkan permeabilitas membran sel tinggi untuk sementara sehingga DNA mudah melakukan penetrasi ke dalam protoplas.

**Embriologi:** cabang ilmu biologi yang mempelajari pertumbuhan dan perkembangan embrio.

**Emigrasi:** perpindahan sekelompok individu dari habitat atau wilayah asalnya.

**Endergonik:** reaksi yang memerlukan energi bebas.

**Enzim:** protein yang berfungsi untuk mempercepat reaksi (katalisator) dalam reaksi pemecahan dan pembentukan suatu zat yang terjadi dalam sel.

**Evolusi:** perubahan yang terjadi secara berangsur-angsur dan dalam waktu yang lama.

**Fermentasi:** proses perubahan energi potensial kimia menjadi energi kinetik tanpa adanya oksigen.

**Fosforilasi:** reaksi penggabungan gugus fosfat anorganik ke dalam senyawa organik dengan bantuan energi cahaya.

**Fotolisis:** penguraian air ( $H_2O$ ) menjadi ( $H_2O$  dan  $CO_2$ ).

**Fotosintesis:** proses penyusunan zat anorganik ( $H_2O$  dan  $CO_2$ ) menjadi senyawa organik kompleks dengan bantuan cahaya.

**Fotosistem:** rangkaian fungsional pigmen penyerap cahaya pada membran tilakoid.

**Glikolisis:** proses perombakan molekul glukosa (6C) menjadi asam piruvat (3C).

**Habitat:** tempat hidup makhluk hidup.

**Hemosianin:** pigmen yang membuat darah berwarna biru-hijau pada Arthropoda dan Mollusca.

**Hereditas:** penurunan sifat pada keturunan.

**Holoenzim:** enzim lengkap yang terdiri atas komponen protein dan nonprotein.

**Idiot:** saraf kecerdasan berpikir sangat rendah.

**Imbisil:** defisiensi mental, IQ setingkat lebih tinggi dari idiot.

**Imigrasi:** masuknya sekelompok individu ke dalam wilayah lain.

- Inhibitor:** zat penghambat kerja enzim.
- Isolasi reproduksi:** dua spesies yang terpisah lama (terisolasi) sehingga tidak dapat mengadakan perkawinan.
- Katalisator:** suatu zat yang mempengaruhi kecepatan reaksi tanpa mempengaruhi hasil akhir (produk).
- Katabolisme:** reaksi pemecahan (penguraian) yang menyebabkan molekul organik kompleks terurai menjadi molekul yang lebih sederhana.
- Kemosintesis:** asimilasi senyawa karbon tanpa memerlukan cahaya, tetapi dengan energi hasil oksidasi.
- Kiasma:** titik pertemuan kromatid yang saling menempel.
- Koenzim:** komponen enzim yang berupa molekul organik dan terikat lemah pada protein enzim.
- Kofaktor:** komponen enzim yang berupa molekul anorganik dan terikat lemah pada protein enzim.
- Kromatid:** bagian kromosom berupa benang-benang yang dapat menyerap zat warna (saat pewarnaan atau pengecatan preparat).
- Leukimia:** kanker darah, penyakit akut/menahun karena adanya satu titik leukosit tidak matang yang berkembang biak secara ganas di dalam sumsum tulang/kelenjar limfa. Sel-sel tersebut kemudian menyebar ke bagian tubuh lain.
- Makronutrien:** zat-zat yang diperlukan untuk pertumbuhan dalam jumlah besar.
- Manipulasi gen:** upaya perubahan susunan DNA untuk memperoleh sifat-sifat yang dikehendaki.
- Mikronutrien:** zat-zat yang diperlukan untuk pertumbuhan dalam jumlah kecil.
- Mereduksi:** menghilang secara perlahan-lahan.
- Mesenkim:** mesoderm embrionik yang terdiri atas jaringan yang tersebar luas dan membentuk jaringan ikat, diapit tulang rawan, tulang, dan sebagainya.
- Nitrifikasi:** perubahan ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) menjadi ion nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) dan ion nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ).
- Plasmid:** kromosom melingkar di luar kromosom bakteri.
- Populasi:** sekumpulan individu sejenis yang menempati suatu wilayah/habitat tertentu.
- Postulat:** anggapan yang menjadi pangkal dasar yang dianggap benar tanpa perlu membuktikannya.
- Radikal bebas:** gugus atom yang dapat masuk ke dalam berbagai reaksi dan membentuk suatu kesatuan.
- Respirasi:** pernapasan, kegiatan memasukkan dan mengeluarkan udara ke dalam dan dari paru-paru.
- Revolusi industri:** perubahan secara besar-besaran di bidang industri.
- Sentriol:** organel sel yang berupa sepasang badan berbentuk silindris dan merupakan satu kesatuan dari sentromer.
- Sifat genetik:** sifat yang diturunkan.
- Sinapsis:** peristiwa berpasangannya pasangan kromosom homolog.
- Sinar radioaktif:** sinar yang dipancarkan oleh zat-zat radioaktif melalui proses penghancuran inti atom.
- Sinar tampak:** cahaya yang mempunyai daerah frekuensi yang sempit, panjang gelombang  $10^{-7}$ – $10^{-18}$  cm. Cahaya ini diperlukan oleh mata agar dapat melihat benda di sekitar kita.
- Sisi aktif:** bagian enzim yang dapat berikatan dengan substrat.
- Teknik rekombinan:** manipulasi genetik dengan mengubah kombinasi struktur DNA sehingga terbentuk kombinasi baru dengan sifat yang sesuai.
- Termolabil:** labil terhadap suhu atau tidak tahan panas.
- Translokasi:** transpor bahan-bahan (misalnya air mineral, dan hasil fotosintesis) jarak jauh dalam tumbuhan.
- Transpirasi:** penguapan air dari tubuh tumbuhan.
- Variasi:** perbedaan-perbedaan kecil dalam suatu spesies.

# Daftar Pustaka

- Anonim. 1986. *Ilmu Pengetahuan Populer. Ilmu Fisika – Biologi Umum. Jilid 5. Edisi Bahasa Indonesia*. Jakarta: Grolier International, Inc.
- \_\_\_\_\_. 2004. *Materi Pelatihan Terintegrasi Sains Buku 4*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah Direktorat Pendidikan Lanjut Pertama.
- \_\_\_\_\_. 2006. *Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2006 tentang Standar Isi untuk Satuan Pendidikan Dasar dan Menengah. Lampiran 3: Standar Kompetensi dan Kompetensi Dasar Mata Pelajaran Kimia untuk SMA/MA*. Jakarta.
- \_\_\_\_\_. 2006. *Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2006 tentang Standar Kompetensi Lulusan untuk Satuan Pendidikan Dasar dan Menengah*. Jakarta.
- Abercrombie, M. et. al. 1993. *Kamus Lengkap Biologi. Edisi Bahasa Indonesia*. Jakarta: Erlangga.
- Campbell, N.A. 1997. *Biology. Fourth Edition*. California: The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc.
- Burnie, D. 2004. *82 Percobaan Alam*. Semarang: Mandira Jaya Abadi.
- Glenn, dan Susan T. 1987. *New Understanding Biology for Advance Level. Fourth Edition*. United Kingdom: Stanley Thorns (Publisher) Ltd.
- \_\_\_\_\_. 1999. *New Understanding Biology*. London: Stanley Thornes.
- Kimball, J.W. dkk. 1987. *Biologi. Jilid 1. Edisi Kelima*. Jakarta: Erlangga.
- \_\_\_\_\_. 1988. *Biologi. Jilid 2. Edisi Kelima*. Jakarta: Erlangga.
- Mader, S.S. 1998. *Biology*. United States of America: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Peter, A.M. et. al. 1987. *Biokimia Harper (Harper's Review of Biochemistry)*. Jakarta: EGC Penerbit Buku Kedokteran.
- Poedjiadi, A. 1994. *Dasar-Dasar Biokimia*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press).
- Rahmawati, D., Mori T., Hosaka T., Takaiwa F., Inoue E., dan Anzai, H. 2005. *Production and Characterization of Recombinant Human Lactoferrin in Transgenic Javanica Rice*. Breeding Science 55: 213–222.

- Raven & Johnson. 1987. *Biology. Fourth Edition*. New York: WBC/McGraw-Hill Companies, Inc.
- Raven, P.H. and Johnson, G.B. 1996. *Biology. Fourth Edition*. New York: WBC/McGraw-Hill Companies, Inc.
- Rutland, J. 1976. *Tubuh Manusia. Edisi Bahasa Indonesia*. Jakarta: Widayadara.
- \_\_\_\_\_. 1997. *Genetika Manusia*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Solomon, E.P., Berg L.R., and Martin D.W. 1999. *Biology. Jilid 1. Fifth Edition*. United States of America: Saunders College Publishing.
- \_\_\_\_\_. 1999. *Biology. Fifth Edition*. Philadelphia: Saunders College Publishing.
- Suryo. 1990. *Genetika Strata 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Tan, S.K. 1997. *G.C.E. "O" Level (Pure) Biology*. Singapore: Redspot Publishing.
- Tjitrosoepomo, G. 1989. *Taksonomi Tumbuhan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Van Cleave, J. 2004. *A+ Proyek-Proyek Biologi. Edisi Bahasa Indonesia*. Bandung: Pakar Raya.
- Wibisono, S. dan Sri W.S. 1996. *Anatomi Tumbuhan (Modul Universitas Terbuka)*. Jakarta: Kurnika Universitas Terbuka.

**A**

Abdomen lebar, 127–128  
Abdomen sempit, 127–128  
Adaptasi, 192, 199–200, 206, 208–210, 212, 223–224  
Adisi, 152, 154–155, 180  
Aerob, 16, 24–26, 28–33, 42  
Agnatha, 215–216  
*Agrobacterium tumefaciens*, 239, 241, 256  
Albino, 119, 134–136  
Alef ganda, 118–119  
Alergi, 243, 251, 253, 257  
Alfred Russel Wallace, 201  
*Allium* sp., 120  
Allopoliploidi, 162, 173, 179  
Amitosis, 81–83, 96, 102, 104, 106  
Amniota, 215  
Amphibia, 204, 215, 216  
Anabolisme, 15–17, 33  
Anaerob, 16, 24–25, 31, 33, 52  
Anafase, 81, 84, 86, 89–90, 92–94, 101–104, 162, 170–171, 175  
Analogi, 206–207, 227  
Anemia, 158–159, 173, 179–181  
Aneuploidi, 152, 162–163, 180  
Angka laju mutasi 212  
Antibodi, 119, 230, 234–235, 243, 245–246, 251, 253, 256–257  
Antibodi monoklonal, 230, 235, 245–246, 253, 257  
Antigen, 118, 119  
Antosianin, 123  
Apoenzim, 18  
Archaeopteryx, 203  
Asam amino, 153–159, 173–174  
Asam nukleat, 17

Aster, 85–86, 91

Auksanometer, 3, 13

*Australopithecus afarensi*, 219

*Australopithecus boisei*, 219

*Australopithecus robustus* 219

*Australopithecus* sp., 220

Autopoliploidi, 162, 173, 179

Autosom, 97, 98

Aves, 215, 216

**B**

*Bacillus thuringiensis*, 246, 247, 257

Back cross, 117

Bidang ekuator, 88, 91, 93, 95, 103, 104

Biokatalisator, 15, 17–18, 21, 24

Bioteknologi

Bioteknologi konvensional, 231, 237, 238, 258

Bioteknologi modern, 231–232, 239, 253, 255, 257

*Biston betularia*, 209–210, 224–225

Bivalen, 91, 103

Bovin somatotropin, 242, 257

Brakhidaktili, 132

**C**

Cambrian, 204, 215–216

*Candida utilis*, 238, 256

Carboniferous, 204, 216

Charles Lyell, 200, 202, 222

Charles Robert Darwin, 192, 224

Chordata, 215–216

Coelacanth, 205

*Corynobacterium glutamicum*, 231

- Creeper, 132
- Criss-cross-inheritance, 140, 144
- Crossing over, 128, 130
- D**
- Darwin, 192, 199–202, 204, 208–209, 212–213, 220, 222, 224, 227
- Defisiensi, 164, 169–172
- Delesi, 152, 154–155, 170, 171–172, 179, 180–181
- Dentinogenesis imperfecta, 135, 138, 144
- Diabetes melitus, 134, 135, 243
- Diakinesis, 91, 101
- Diferensiasi, 4, 9, 13
- Dihibrid, 110–115, 121, 124, 144, 147
- Diploid, 96–100, 104–106, 161, 172, 175
- Diplonema, 91
- Disimilasi, 17
- Dispersif, 67–79
- DNA, 153–155, 158, 162–163, 168, 173–174, 178–30
- DNA rekombinan, 229, 232–234, 237, 239, 241, 244, 253, 255–258
- Domestikasi, 212
- Double helix, 64–65, 67, 70, 73, 78, 80
- Drosophila*, 127, 128–130, 133, 145–146, 148
- Drosophila melanogaster*, 127, 129, 148
- E**
- Elektrofusi, 246
- Embriologi, 191, 202, 207, 222
- Embriologi perbandingan 191, 202, 207, 222
- Empulur, 235
- Endonuklease restriksi, 230, 232, 255, 257
- Endotoksin, 246–248, 257
- Enzim, 15, 17–24, 52–55, 57–58
- Eohippus, 205, 225
- Eosen, 203, 205, 225
- Epistasis, 120, 121, 145, 147–148
- Eritrosit, 118, 119, 137
- Ernest Haeckel, 207
- Escherichia coli*, 233
- Etilen, 240, 256
- Evolusi, 191–193, 195, 197, 199–214, 218, 220–228
- Evolusionis, 196, 202, 205, 207, 212
- F**
- F.C. Steward, 235
- Fase log, 3
- Fase stasioner, 3
- Fenilketonuria, 135–137
- Fermentasi, 15–16, 24, 30–33, 237–238, 254
- Fillial, 110
- Filogeni, 207, 215, 218
- Frekuensi, 113, 115, 125, 212–214, 223, 227
- Fusarium graminearum*, 238, 256
- Fusi protoplasma, 229, 232, 234, 237, 253, 255, 256
- G**
- G. Haberlandt, 235
- Galapagos, 199–200, 202, 208, 222–223
- Galur murni, 109, 118, 123, 147
- Gamet 107, 110–112, 114–116, 124, 127–129, 131, 135–140, 143, 148
- Gametogenesis, 81, 97, 99
- Gen
- Gen komplementer, 120, 125–126, 145
  - Gen letal, 120, 132, 147, 149
  - Gen linkage, 127
- Genotip, 107–109, 111–122, 125–127, 135–140, 142, 143–146
- Glikosis, 26
- Grafik sigmoid, 3

## H

Haploid, 92–93, 95–101, 104–105, 147  
Hardy-Weinberg, 213, 222–223, 225  
Hemofilia, 131  
Heterozigot, 108, 110–112, 114, 118, 120, 125, 132, 136, 138–141, 145  
HMS, 25, 30–31  
Holoenzim, 18  
Hominidae, 218–219  
*Homo erectus*, 219–220  
*Homo habilis*, 219  
*Homo sapiens*, 219–220, 222  
*Homo sapiens neanderthal*, 219  
Homologi, 191, 202, 206–207, 222, 208–227  
Homozigot dominan, 117, 132  
Homozigot resesif, 118, 132–133, 145  
Hormon pertumbuhan, 235, 242

## I

In vitro, 236  
Inhibitor  
    Inhibitor alosterik, 19, 21  
    Inhibitor kompetitif, 20, 53  
    Inhibitor nonkompetitif, 20  
    Inhibitor reversibel, 19, 20  
    Inhibitor umpan balik, 20, 52  
Insulin, 234, 243–244, 251, 253, 257  
Interfase, 81, 84, 89, 102–104  
Interselular, 4, 13  
Inversi heterozigot, 169  
Inversi parasentris, 169  
Irreversibel, 3  
Isolasi reproduksi, 212

## K

Kalus, 236  
Kapas transgenik, 248

Katabolisme, 16–17, 24, 44–45, 52, 57

Kecambah, 3, 11

Kiasma, 91, 94, 96, 101

Klon, 233

Kodon, 64, 69, 70–72, 74, 78–80

Koenzim, 18, 28, 55

Kofaktor, 18

Kolkisin, 162, 175–176, 179, 181

Konservatif, 67–79

Kromatid, 83, 85–86, 91–94, 101, 103–104

Kromatin, 82–83, 85, 93, 101, 103–104

Kromosom, 63, 71, 73–76, 78, 82–85, 90–98, 101, 102–106

Kultur jaringan, 229–230, 232, 235–237, 253, 255–257

Kutub sel, 85–86, 104

## L

Lamarck, 201–202, 224, 227

Leonardo da Vinci, 203–224

Ligase, 233, 244–255, 257

Lokus, 213

## M

Makrosporogenesis, 81, 82, 99, 102

Metabolisme, 15–17, 44–46, 48, 52–53, 58

Metafase, 81, 85, 89–94, 101–104

Methylophylus, 238

Mikoprotein, 238–239, 253, 256

Missense mutation, 156–179

Mitosis, 81–84, 86–93, 95–99, 101–104, 106, 170–171, 175

Mutasi

    Mutasi gen, 151, 153–154, 156, 158–161, 167, 177, 179–181

    Mutasi kromosom, 151, 161, 173, 179

## N

- Neodarwinisme, 212  
Nondisjunction 152, 163, 165, 173, 180  
Nonsense mutation, 156–179  
Nukleolus, 85, 86, 91–93, 101, 104  
Nukleus, 55, 82, 88–89, 90, 93, 96, 99–101, 104

## O

- Ontogeni, 207  
Oogenesis, 81, 97–98, 102, 104–106  
Organ vestigial, 202, 207

## P

- Padi transgenik, 240, 253  
Pakinema, 91  
Plantlet, 236, 255  
Plasmid, 230, 232–233, 239, 241–244, 256  
Poliploidi, 162, 175, 180  
Primata, 218, 219  
Profase, 84–85, 90–93, 95, 102–104  
PST, 238, 256

## R

- R. Weidersheim, 207  
Radiasi, 173, 176, 178–179, 181  
Reaksi gelap, 36, 39, 44, 56  
Reaksi terang, 36–37, 44, 56, 57  
Rekayasa genetika, 229–230, 232, 237, 239, 240, 242–243, 246–247, 249, 250–251, 253, 257–258  
Replikasi, 67–69, 73, 78–80  
Resiprok, 168, 181  
Respirasi, 15–17, 24–26, 28–33, 42  
Revolusi industri, 209, 210, 224, 225

## S

- Saccharomyces cerevisiae*, 238  
Salmon 242, 253, 256  
Sapi herman, 242, 257  
Sel mieloma, 234, 245–246  
Seleksi alam, 200–202, 209–210, 212–214, 222–225, 227  
Semikonservatif, 67–68, 79  
Sentriol, 84–85, 88, 91, 93, 101, 104  
Sentromer, 83, 85–86, 91–93, 101, 104  
Siklus Krebs, 16, 25, 29, 32  
Silent mutation, 156, 158–179  
Sinapsis, 91, 102  
Sinar  
    Sinar alfa, 173, 179  
    Sinar beta, 173, 179  
    Sinar gamma, 173, 176, 178–179  
    Sinar radioaktif, 173, 176–178, 180  
Sindrom  
    Sindrom Down, 163–165, 167, 180–181  
    Sindrom Klinefelter, 165–166, 180–181  
    Sindrom Turner, 165, 166, 180–181  
Sintesis  
    Sintesis protein, 64–65, 69–71, 77–80  
Sistem transpor elektron, 16, 25, 27–30, 36–38, 55–57  
Sitokinesis, 84, 86, 88, 99–101, 103, 105  
Spermatogenesis, 81, 97–98, 100, 102, 104–106  
*Spirulina*, 238, 256
- T
- Telofase, 81, 86, 89–90, 92–94, 101–104  
Teori abiogenesis, 193–194, 199, 223, 225–226  
Teori cosmozoic, 195, 223  
Teori evolusi biokimia, 195–223

Teori penciptaan, 195, 223  
Teori rekapitulasi, 207  
*Thiobacillus ferrooxidans*, 248  
Thomas Malthus, 200, 202, 222  
Totipotensi, 235  
Transkripsi, 64, 69, 70–71, 74, 77–80  
Translasi, 71, 73–74, 77–78  
Translokasi, 152, 167–168, 172, 179, 181  
Transplantasi gen, 230, 232–234, 239, 243, 256

Trilobita, 203

**V**

Vaksin, 229–230, 243–245, 253  
Vektor, 230, 232–233, 239–240, 241, 256–257  
Viabilitas, 256–257  
Virus TMV, 241

## Kunci Jawaban Soal-Soal Terpilih

### Bab I Pertumbuhan dan Perkembangan

- A. 1. b  
3. a  
5. d  
7. c  
9. b
- B. 1. Dormasi adalah terhentinya proses pertumbuhan suatu tanaman walaupun berada dalam lingkungan yang mendukung. Hormon yang mempengaruhi adalah asam absisat.  
3. Diferensiasi adalah proses pertumbuhan lebih lanjut dengan tujuan agar tumbuhan mencapai tingkat kedewasaan.  
5. Giberelin

### Bab II Metabolisme

- A. 2. e  
3. b  
9. b  
10. e  
16. c  
35. a
- B. 1. Anabolisme merupakan proses pembentukan molekul-molekul sederhana menjadi molekul-molekul yang lebih kompleks dengan menggunakan sejumlah energi. Sementara itu, katabolisme merupakan proses pemecahan molekul-molekul kompleks menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana dengan menghasilkan sejumlah energi.  
3. Asam piruvat dapat masuk ke siklus Krebs melalui reaksi pembentukan Asetil Co-A (reaksi transisi). Pada reaksi ini asam piruvat dikonversi menjadi gugus asetil yang bergabung dengan Co-enzim A membentuk asetil Co-A dan melepaskan CO<sub>2</sub>.  
5. Fotosistem merupakan rangkaian fungsional pigmen penyerap cahaya pada membran tilakoid. Fotosistem ada 2 macam, yaitu Fotosistem I dan Fotosistem II. Fotosistem I terdiri atas klorofil dan pigmen tambahan yang menyerap kuat energi cahaya dengan panjang gelombang 700 nm (P700). Sementara itu, Fotosistem II terdiri atas klorofil yang menyerap kuat energi cahaya dengan panjang gelombang 680 nm (P680).

	Fotosintesis	Kemosintesis
a. Sumber energi	Cahaya	Kimia
b. Pelaku	Tumbuhan ber-klorofil	Bakteri tidak ber-klorofil

	Fotosintesis	Kemosintesis
c. Bahan dasar	CO <sub>2</sub> dan H <sub>2</sub> O	Senyawa an-organik
d. Hasil	Karbohidrat dan oksigen	Senyawa organik

8. a. Fotorespirasi adalah pemecahan senyawa antara dalam siklus Calvin menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O.  
b. Fotorespirasi dapat mengurangi efisiensi fotosintesis pada tanaman C<sub>3</sub> karena banyak menghilangkan senyawa antara (RuBP) yang dipakai dalam siklus Calvin.  
9. Sel otot melakukan fermentasi asam laktat ketika tubuh membutuhkan energi yang besar dalam waktu singkat. Misalnya pada atlet lari cepat, saat berlari membutuhkan oksigen yang sangat besar. Dengan oksigen yang banyak, asam piruvat akan masuk siklus Krebs seperti kondisi normal sehingga pembentukan ATP juga besar. Namun, ketika oksigen dalam tubuh menjadi berkurang akibat aktivitas lari tersebut, maka asam piruvat akan diubah menjadi asam laktat. Laktat merupakan racun bagi sel, sehingga laktat yang terbentuk dalam sel otot akan dibawa keluar oleh darah menuju hati.  
10. Hubungan antara fotosintesis dan respirasi. Pada proses fotosintesis, diperlukan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan air (H<sub>2</sub>O). Karbon dioksida diperoleh dari hasil pernapasan makhluk hidup. Hasil proses fotosintesis berupa karbohidrat dan oksigen. Oksigen diperlukan makhluk hidup untuk respirasi.

### Bab III Substansi Genetik

- A. 4. c  
8. b  
12. a  
18. d  
20. c
- B. 2. Perbedaan struktur, fungsi dan materi penyusun DNA dan RNA.

DNA	RNA
1. Ditemukan dalam nukleus yaitu dalam kromosom, mitokondria, dan kloroplas.	1. Ditemukan dalam sitoplasma, terutama dalam ribosom, dan juga dalam nukleus.
2. Berupa rantai panjang dan ganda ( <i>double helix</i> ).	2. Berupa rantai pendek dan tunggal.
3. Fungsi berhubungan erat dengan penurunan sifat dan sintesis protein.	3. Fungsi berhubungan erat dengan sintesis protein.
4. Kadarnya tidak dipengaruhi oleh aktivitas sintesis protein.	4. Kadarnya dipengaruhi oleh aktivitas sintesis protein.

DNA	RNA
5. Basa nitrogen terdiri atas purin: <i>adenin</i> (A) dan <i>guanin</i> (G), pirimidin: <i>timin</i> (T) dan <i>sitosin</i> (C).	5. Basa nitrogen terdiri atas purin: <i>adenin</i> (A) dan <i>guanin</i> (G), pirimidin: <i>urasil</i> (U) dan <i>sitosin</i> (C).
6. Komponen gulanya <i>deoksiribosa</i> , yaitu ribosa yang kehilangan satu atom oksigen pada atom C nomor 2.	6. Komponen gulanya <i>D-ribosa</i> (pentosa).

4. Tahap-tahap sintesis protein.  
Kodek-kode genetik dalam DNA disalin menjadi mRNA. Proses ini disebut transkripsi. Setelah disalin, mRNA keluar dari nukleus menuju sitoplasma. Di dalam sitoplasma terdapat ribosom sebagai tempat sintesis protein. Karena mRNA tidak dapat mengenali asam amino secara langsung, diperlukan tRNA untuk membaca kode-kode yang dibawa mRNA. Proses penerjemahan kode yang dibawa, mRNA oleh tRNA disebut translasi. Asam amino yang terbentuk selama penerjemahan oleh tRNA akan membentuk suatu ikatan protein.
5. DNA memiliki kemampuan melakukan transkripsi membentuk mRNA karena DNA berfungsi sebagai heterokatalis atau mensintesis molekul lain. Dalam sintesis protein, rantai DNA yang mengandung kode-kode genetik (kodon) dapat mencetak mRNA.

#### Bab IV Pembelahan Sel

- A. 5. c  
10. c  
15. d  
20. b  
27. a  
34. e
- B. 1. Perbedaan pembelahan mitosis dan meiosis.

Mitosis	Meiosis
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pembelahan tunggal</li> <li>Jumlah kromosom anak sama dengan kromosom induk (<math>2n</math>)</li> <li>Menghasilkan 2 sel anakan.</li> <li>Tidak terjadi pindah silang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pembelahan berlangsung dalam dua tahap, yaitu meiosis I dan meiosis II.</li> <li>Jumlah kromosom anak <math>\frac{1}{2}</math> kromosom induk (<math>n</math>)</li> <li>Menghasilkan 4 sel anakan.</li> <li>Terjadi pindah silang</li> </ul>

2. Mitosis bisa menjaga agar faktor genetik tetap karena mitosis menghasilkan sel anakan yang sama persis dengan sel induknya.
4. Pembelahan reduksi adalah pembelahan sel yang menghasilkan sel anakan dengan jumlah kromosom setengah jumlah kromosom sel induk.

6. Proses mikrosporogenesis.
- Mikrosporosit membelah meiosis I dan menghasilkan sepasang sel haploid.
  - Sepasang sel haploid membelah meiosis II menghasilkan 4 mikrospora haploid (tetrad).
  - Setiap mikrospora mengalami kariokinesis sehingga menghasilkan 2 inti haploid. Satu ini disebut inti vegetatif dan lainnya disebut inti generatif.
  - Inti generatif membelah secara mitosis tanpa sitokinesis sehingga terbentuk 2 inti sperma. Jadi, di dalam sebutir serbuk sari masak terdapat 3 inti haploid, yaitu 1 inti vegetatif dan 2 inti sperma (inti generatif).
8. Zigot hasil fertilisasi bersifat diploid karena zigot ini merupakan persatuan inti generatif yang haploid ( $n$ ) dengan sel telur ( $n$ ).
9. Perbedaan antara spermatogenesis dengan oogenesis ditinjau dari hasil akhirnya adalah pada spermatogenesis dihasilkan 4 buah sel gamet jantan, sedangkan pada oogenesis hanya dihasilkan 1 buah sel gamet betina.

#### Bab V Hukum Hereditas

- A. 1. a  
6. c  
12. c  
15. b  
19. c
- B. 1. Pindah silang terjadi apabila ada pertukaran sebagian gen-gen suatu kromatid dengan gen-gen dari kromatid pasangan homolognya. Pertukaran ini disebabkan karena pada saat berlangsungnya meiosis, kromatid yang berdekatan dengan kromosom homolog tidak selalu berjajar, berpasangan dan beraturan, tetapi kadang-kadang saling melilit satu dengan yang lain.
2. Dalam penelitian tidak pernah menggunakan manusia sebagai objek kajian karena sebagai berikut.
- Jarang orang yang bersedia menjadi objek penelitian.
  - Umur atau daur hidup manusia panjang.
  - Jumlah keturunan manusia relatif sedikit.
  - Tidak dapat melalui percobaan karena norma tidak membenarkan.
  - Kondisi lingkungan tidak dapat dikontrol peneliti.
  - Peneliti mengalami kesulitan dalam meneliti dan mengontrol karakter yang berkaitan dengan kemauan.

4. Dengan menyilangkan gen-gen tumbuhan atau hewan yang bersifat baik atau unggul.
5. Cara-cara yang paling bijaksana agar dapat menghindari penyakit yang bersifat menurun pada manusia di antaranya sebagai berikut.
  - a. Menggunakan *pedigree* (peta silsilah) yaitu catatan sifat menurun dari generasi ke generasi secara beruntun.
  - b. Meneliti genetika pada hewan yang memiliki sifat atau karakter mirip dengan yang dimiliki manusia.
  - c. Mempelajari penurunan sifat pada anak kembar.
7. Cara mengetahui suatu sifat pada organisme dominan maupun resesif melalui *test cross* (uji silang).
9. Gen letal mengakibatkan keturunan menyimpang dari hukum Mendel, karena pada perkawinan monohibrid menghasilkan perbandingan fenotip 2 : 1, bukan 3 : 1.

## Bab VI Mutasi

- A. 2. d  
4. b  
7. a  
11. a  
17. b  
20. e
- B. 1. Asam nitrat dapat menyebabkan perubahan pada basa nitrogen. Jika asam nitrat bereaksi dengan adenin akan membentuk zat baru yang disebut hipoxantin. Zat tersebut menempati kedudukan yang sebelumnya ditempati adenin dan berpasangan dengan sitosin, bukan lagi dengan timin. Proses deaminasi tersebut menyebabkan perubahan asam amino yang dibentuk.  
 2. Tiga macam mutagen:  
   a. Mutagen bahan fisik  
 Contoh: sinar radioaktif  
   b. Mutagen bahan kimia  
 Contoh: asam nitrit, hidroksil amin  
   c. Mutagen bahan biologi  
 Contoh: virus epstein-bar  
 4. Penggunaan radioaktif secara terus-menerus dalam terapi dapat membahayakan aktifitas gen karena gen-gen yang terkena radiasi pengion akan terputus ikatannya sehingga terjadi ionisasi pada sel-sel pembentuk jaringan tubuh. Ionisasi terjadi jika elektron terlepas dari

suatu atom dan bergabung dengan atom lainnya. Molekul-molekul DNA yang tersusun atas atom-atom yang terionisasi dapat menyebabkan gen menjadi labil dan mudah berubah.

5. Ibu yang terkena radiasi pada bagian kepala dan mengalami mutasi pada bagian tersebut tidak diturunkan pada generasi berikutnya. Hanya mutasi gen pada sel-sel kelamin (gamet) saja yang perubahan fenotipnya diwariskan kepada keturunan.

## Bab VII Teori Evolusi

- A. 3. c  
5. c  
11. c  
16. b  
22. e  
30. a
- B. 1. Organ tubuh makhluk hidup yang sering digunakan akan berkembang terus, sedangkan organ yang tidak sering digunakan akan mengalami atropi (penyusutan) dan bahkan mereduksi (hilang).  
 3. Bukti-bukti yang mendukung teori evolusi:  
   – rekaman fosil  
   – peristiwa homolog  
   – embriologi perbangungan  
   – organ vestigial  
 5. Seleksi alam menyatakan bahwa makhluk hidup yang mampu beradaptasi dengan habitatnya akan mampu bertahan hidup  
 6.  $AA = p^2$ ,  $Aa = 2pq$ ,  $aa = q^2$   

$$\text{Albino} = aa = \frac{16}{10.000} = 0,0016$$

Frekuensi gen a

$$q^2 = \sqrt{0,0016} = 0,04$$

Oleh karena frekuensi untuk seluruh alela harus 1, maka  $p + q = 1$  sehingga frekuensi alela dominan ( $p$ ) dapat dihitung:  
 $p = 1 - 0,04 = 0,96 \Rightarrow p^2 = 0,9216$   
 Selanjutnya  $2pq = 2 \times 0,96 \times 0,04 = 0,0768$   
 Jadi, frekuensi pembawa gen albino dalam populasi tersebut sebesar 0,0768.

8. Persamaan antara eksperimen Spallanzani dan Pasteur adalah:

  - media yang digunakan yaitu kaldu yang dipanaskan.
  - membuktikan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup.

## Bab VIII Bioteknologi

- A. 5. e  
9. a  
15. e  
19. e  
24. a
- B. 2. Manfaat dilaksanakannya kultur jaringan antara lain dapat memperbanyak bibit unggul dengan mudah dan cepat dan berguna dalam usaha pelestarian tanaman langka atau tanaman lain yang mempunyai nilai ekonomis tinggi.  
3. Langkah-langkah DNA rekombinan.  
a. Isolasi DNA.  
b. Transplantasi DNA (memotong dan menyambung DNA)  
c. Memasukkan DNA ke dalam sel hidup.  
5. Langkah-langkah yang dilakukan Beachy dalam pengembangan tembakau tahan virus. Plasmid Ti digabung dengan gen yang tahan terhadap penyakit TMV. Gabungan ini kemudian dimasukkan dalam kromosom tembakau. Kromosom tembakau yang telah disisipi gen tahan virus TMV tersebut kemudian diperbanyak dengan teknik kultur jaringan. Tanaman tembakau yang dihasilkan terbebas dari infeksi virus TMV.
7. *Bacillus thuringiensis* dapat memberikan dampak positif terhadap lingkungan karena bakteri ini dapat memproduksi protein beracun pada lambung larva serangga dan banyak jenis ulat. Dengan demikian, serangga yang memakan tanaman yang telah dimasukkan gen delta endotoksin *Bacillus thuringiensis* akan mengalami keracunan kemudian mati.
10. Dampak terhadap kesehatan:  
a. Dampak positif  
Penemuan-penuam produk baru atau hormon menyebabkan produk tersebut murah dan mudah didapat oleh masyarakat.  
b. Dampak negatif  
Penggunaan produk kesehatan juga dapat menimbulkan gejala-gejala lain dari suatu penyakit, misalnya alergi.







## Mengembangkan Keterampilan Proses

Banyak siswa merasa gagap saat memasuki dunia baru, yaitu dunia kerja atau jenjang pendidikan yang lebih tinggi. Mereka merasa telah membawa cukup bekal, tetapi kenyataannya bekal itu belum memadai. Mereka akhirnya hanya berdiri di persimpangan di antara dua dunia itu. Apakah yang kurang dari mereka? Salah satunya karena kurangnya keterampilan proses. Seharusnya mereka mendapatkan keterampilan proses itu saat menempuh pelajaran IPA di bangku sekolah.

Biologi sebagai salah satu bidang IPA yang menyediakan berbagai pengalaman belajar untuk memahami konsep dan proses sains (IPA). Keterampilan proses itu meliputi keterampilan mengamati, mengajukan hipotesis, serta menggunakan alat dan bahan secara baik dan benar dengan selalu mempertimbangkan keamanan dan keselamatan kerja. Bukan hanya itu, Biologi juga mengajarkan keterampilan mengajukan pertanyaan, menggolongkan dan menafsirkan data, mengkomunikasikan hasil temuan secara lisan atau tertulis, serta memilih dan memilih informasi faktual yang relevan untuk menguji gagasan-gagasan atau memecahkan masalah sehari-hari. Semua keterampilan itu dapat diperoleh melalui kegiatan pembelajaran di sekolah. Bagaimana aplikasinya dalam buku pelajaran?

Buku pelajaran sebagai media pembelajaran sudah seharusnya sejalan dengan proses pembelajaran di sekolah. Oleh karena itu, buku harus menyediakan media untuk mengembangkan keterampilan proses. Sehubungan dengan tujuan itu, buku Biologi ini disusun dengan mengutamakan perolehan keterampilan proses siswa. Akhirnya setelah pembelajaran usia, siswa benar-benar telah siap menghadapi dunianya yang baru, dunia kerja atau jenjang pendidikan yang lebih tinggi.

ISBN: 978-979-068-831-5 (no jilid lengkap)  
ISBN: 978-979-068-843-8

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2007 tanggal 25 Juli 2007 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran Yang Memenuhi Syarat Kelayakan Untuk Digunakan Dalam Proses Pembelajaran.

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp19.975,-