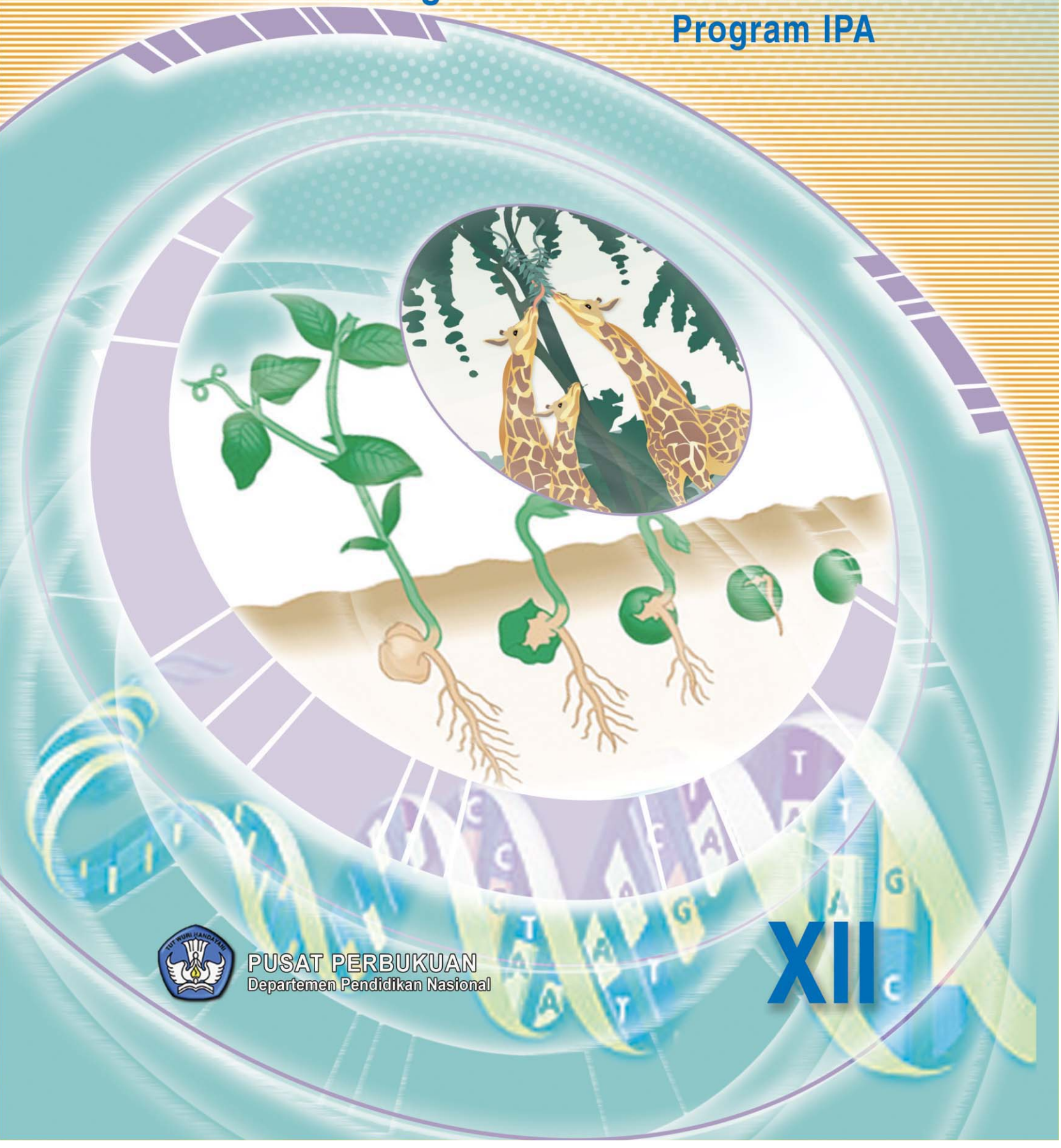


Faidah Rachmawati | Nurul Urifah | Ari Wijayati



# BIOLOGI

Biologi untuk SMA/MA Kelas XII  
Program IPA



PUSAT PERBUKUAN  
Departemen Pendidikan Nasional

# XII



# BIOLOGI

Untuk SMA/MA Kelas XII Program IPA



PUSAT PERBUKUAN  
Departemen Pendidikan Nasional

# XII



# BIOLOGI

untuk SMA/MA Kelas XII Program IPA

---

**Penulis:**

Faidah Rachmawati  
Nurul Urifah  
Ari Wijayati

**Penyunting:**

Erminawati

**Pewajah Isi:**

Sholichuddin Fanani

**Ilustrasi:**

Tubagus Eko, Anom Prasetyo

**Pewajah Sampul:**

Ipan Sopyan

**Ukuran Buku:**

21 x 29,7 cm

574.07

FAI  
b

FAIDAH Rachmawati

Biologi : untuk SMA/ MA Kelas XII Program IPA / penulis,  
Faidah Rachmawati, Nurul Urifah, Ari Wijayati ; penyunting, Eminawati  
; ilustrasi, Tubagus Eko, Anom Prasetyo. -- Jakarta : Pusat Perbukuan,  
Departemen Pendidikan Nasional, 2009.  
x, 172 hlm. : ilus. ; 30 cm

Bibliografi : hlm. 171

Indeks

ISBN 978-979-068-831-5 (No. Jilid Lengkap)

ISBN 978-979-068-841-4

1. Biologi-Studi dan Pengajaran      I. Judul  
II. Nurul Urifah      III. Ari Wijayati      IV. Eminawati      V. Tubagus Eko  
VI. Anom Prasetyo

Hak Cipta Buku ini dibeli Departemen Pendidikan Nasional  
dari Penerbit Ricardo Publishing and Printing

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan  
Departemen Pendidikan Nasional  
Tahun 2009

Diperbanyak oleh .....

---



## Kata Sambutan

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

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

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

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

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

Jakarta, Juni 2009  
Kepala Pusat Perbukuan

## Kata Pengantar

Puji syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karuniaNya buku Biologi untuk SMA/MA kelas XII Program IPA telah selesai disusun.

Buku Biologi disusun berdasarkan kurikulum yang berlaku, yaitu Standar Isi. Diharapkan siswa dapat belajar aktif dan berpikir kritis untuk menyelesaikan masalah. Sehingga, siswa mampu mengembangkan potensi kognitif, afektif, dan psikomotorik yang dimilikinya.

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, siswa membutuhkan proses pembelajaran yang dapat membantu menghadapi segala tantangan dan permasalahan dalam kehidupan sehari-hari. Buku ini dapat menjadi salah satu media yang memberi pengetahuan tentang Biologi. Bahan-bahan pelajaran yang disajikan dalam buku ini disusun secara sederhana, praktis, dan sistematis agar mudah dipahami oleh siswa.

Semoga buku ini bermanfaat bagi siswa dan pembaca lainnya.

Jakarta, Juli 2006



# Daftar Isi

Kata Sambutan ] iii [  
Kata Pengantar ] iv [  
Daftar Isi ] v [  
Pemetaan Biologi ] vi [

## Bab 1 Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan

A. Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan ] 2 [  
B. Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan ] 6 [  
Mari Berkompetensi ] 17 [

## Bab 2 Metabolisme Sel

A. Pengertian metabolisme ] 20 [  
B. Enzim ] 21 [  
C. Katabolisme ] 26 [  
D. Anabolisme ] 33 [  
Mari Berkompetensi ] 39 [

## Bab 3 Materi Genetik

A. Gen dan Alel ] 42 [  
B. DNA dan RNA ] 43 [  
C. Kromosom ] 48 [  
D. Sintesis Protein ] 50 [  
E. Sandi Genetik ] 52 [  
Mari Berkompetensi ] 57 [

## Bab 4 Reproduksi Sel

A. Pengertian Reproduksi Sel ] 60 [  
B. Reproduksi Sel pada Organisme Prokariotik ] 60 [  
C. Reproduksi Sel pada Organisme Eukariotik ] 61 [  
D. Proses Pembentukan Gamet pada Hewan Tingkat Tinggi dan Manusia ] 68 [  
E. Proses Pembentukan Gamet pada Tumbuhan Tingkat Tinggi ] 70 [  
Mari Berkompetensi ] 73 [

## Bab 5 Hereditas dan Mutasi

A. Pengertian Hereditas ] 76 [  
B. Hukum Mendel ] 76 [  
C. Penyimpangan Semu Hukum

Mendel ] 79 [  
D. Pautan, Pindah Silang, dan Gagal Berpisah ] 83 [  
E. Penentuan Jenis Kelamin ] 85 [  
F. Pautan Seks ] 87 [  
G. Gen Letal ] 88 [  
H. Hereditas pada Manusia ] 89 [  
I. Mutasi ] 95 [  
Mari Berkompetensi ] 103 [

## Bab 6 Asal -Usul Kehidupan

A. Teori Terbentuknya Bumi ] 106 [  
B. Teori Mengenai Asal-Asul Kehidupan ] 107 [  
C. Teori Asal-Usul Kehidupan Lain ] 111 [  
D. Evolusi Biologi ] 113 [  
Mari Berkompetensi ] 117 [

## Bab 7 Evolusi

A. Pengertian Evolusi ] 120 [  
B. Teori Evolusi ] 122 [  
C. Petunjuk Evolusi ] 127 [  
D. Mekanisme Evolusi ] 134 [  
Mari Berkompetensi ] 149 [

## Bab 8 Bioteknologi

A. Pengertian Bioteknologi ] 152 [  
B. Ilmu-Ilmu yang Digunakan dalam Bioteknologi ] 152 [  
C. Perkembangan dan Aplikasi Bioteknologi Tradisional dan Modern ] 153 [  
D. Penggunaan Mikroorganisme dalam Bioteknologi ] 157 [  
E. Bioteknologi dengan Kultur Jaringan dan Rekayasa Genetika ] 165 [

Daftar Pustaka ] 171 [  
Indeks ] 172 [



# Pemetaan Biologi

untuk SMA/MA Kelas XII Program IPA Berdasarkan Standar Isi

## Bab 1 Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan

Materi	Standar Kompetensi	Kompetensi Dasar
A. Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan B. Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan	Melakukan percobaan pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan	- Merencanakan percobaan pengaruh faktor luar terhadap pertumbuhan tumbuhan - Melaksanakan percobaan pengaruh faktor luar terhadap pertumbuhan tumbuhan - Mengkomunikasikan hasil percobaan pengaruh faktor luar terhadap pertumbuhan tumbuhan

## Bab 2 Metabolisme Sel

Materi	Standar Kompetensi	Kompetensi Dasar
A. Pengertian metabolisme B. Enzim C. Katabolisme D. Anabolisme	Memahami pentingnya proses metabolisme pada organisme	- Mendeskripsikan fungsi enzim dalam proses metabolisme - Mendeskripsikan proses katabolisme dan anabolisme karbohidrat - Menjelaskan keterkaitan antara proses metabolisme karbohidrat dengan metabolisme lemak dan protein

## Bab 3 Materi Genetik

Materi	Standar Kompetensi	Kompetensi Dasar
A. Gen dan Alel B. DNA dan RNA C. Kromosom D. Sintesis Protein E. Sandi Genetik	Memahami penerapan konsep dasar dan prinsip-prinsip hereditas serta implikasinya pada Salingtemas	- Menjelaskan konsep gen, DNA, dan kromosom - Menjelaskan hubungan gen (DNA)-RNA-polipeptida dan proses sintesis protein

## Bab 4 Reproduksi Sel

Materi	Standar Kompetensi	Kompetensi Dasar
A. Pengertian Reproduksi Sel B. Reproduksi Sel pada Organisme Prokariotik C. Reproduksi Sel pada Organisme Eukariotik D. Proses Pembentukan Gamet pada Hewan Tingkat Tinggi dan Manusia E. Proses Pembentukan Gamet pada Tumbuhan Tingkat Tinggi	Memahami penerapan konsep dasar dan prinsip-prinsip hereditas serta implikasinya pada Salingtemas	- Menjelaskan keterkaitan antara proses pembelahan mitosis dan meiosis dengan pewarisan sifat



### Bab 5 Hereditas dan Mutasi

Materi	Standar Kompetensi	Kompetensi Dasar
A. Pengertian Hereditas B. Hukum Mendel C. Penyimpangan Semu Hukum Mendel D. Pautan, Pindah Silang, dan Gagal Berpisah E. Penentuan Jenis Kelamin F. Pautan Seks G. Gen Letal H. Hereditas pada Manusia I. Mutasi	Memahami penerapan konsep dasar dan prinsip-prinsip hereditas serta implikasinya pada Salingtemas	- Menerapkan prinsip hereditas dalam mekanisme pewarisan sifat - Menjelaskan peristiwa mutasi dan implikasinya dalam Salingtemas

### Bab 6 Asal-Usul Kehidupan

Materi	Standar Kompetensi	Kompetensi Dasar
A. Teori Terbentuknya Bumi B. Teori Mengenai Asal-Asul Kehidupan C. Teori Asal-Usul Kehidupan Lain D. Evolusi Biologi	Memahami teori evolusi serta implikasinya pada Salingtemas	- Menjelaskan teori, prinsip, dan mekanisme evolusi biologi

### Bab 7 Evolusi

Materi	Standar Kompetensi	Kompetensi Dasar
A. Pengertian Evolusi B. Teori Evolusi C. Petunjuk Evolusi D. Mekanisme Evolusi	Memahami teori evolusi serta implikasinya pada Salingtemas	- Mengkomunikasikan hasil studi evolusi biologi - Mendeskripsikan kecenderungan baru tentang teori evolusi

### Bab 8 Bioteknologi

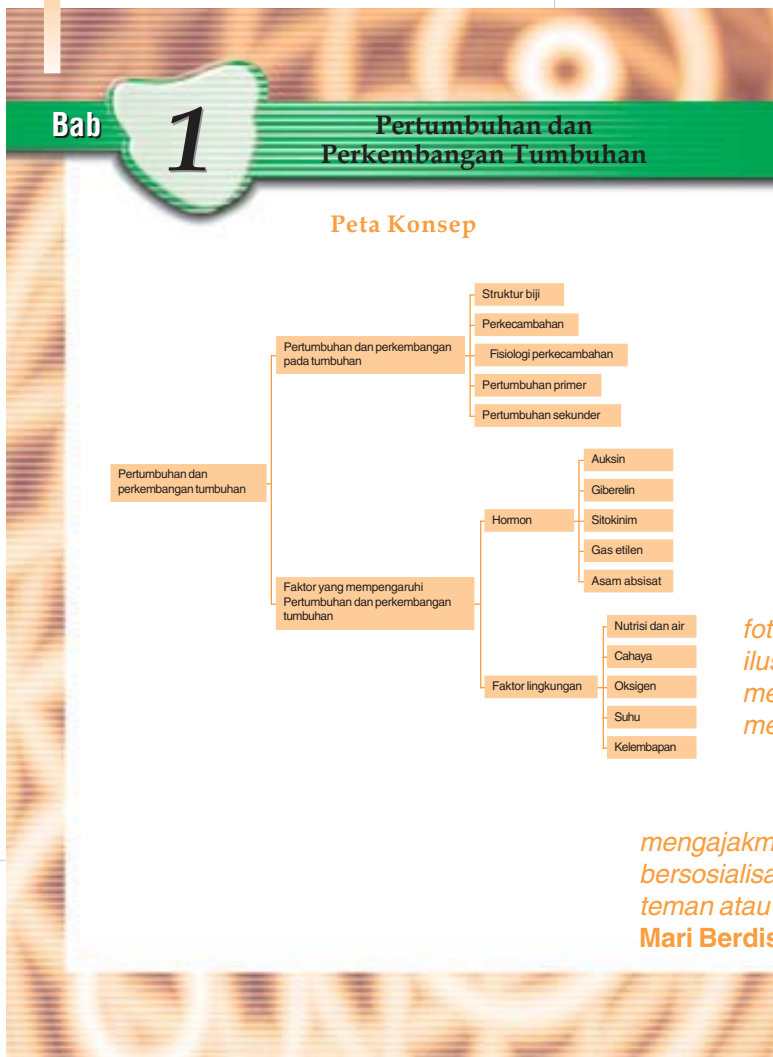
Materi	Standar Kompetensi	Kompetensi Dasar
A. Pengertian Bioteknologi B. Ilmu-Ilmu yang Digunakan dalam Bioteknologi C. Perkembangan dan Aplikasi Bioteknologi Tradisional dan Modern D. Penggunaan Mikroorganisme dalam Bioteknologi E. Bioteknologi dengan Kultur Jaringan dan Rekayasa Genetika	Memahami prinsip-prinsip dasar bioteknologi serta implikasinya pada Salingtemas	- Menjelaskan arti, prinsip dasar, dan jenis-jenis bioteknologi - Menjelaskan dan menganalisis peran bioteknologi serta implikasi hasil-hasil bioteknologi pada Salingtemas



# Petunjuk Penggunaan Buku BIOLOGI

Untuk memudahkan kamu dalam mempelajari buku ini, mari cermati bagian-bagian yang terdapat pada buku ini.

Judul Bab dan Peta Konsep berisi gambaran tentang materi yang akan dipelajari dalam bab tersebut



berisi kegiatan untuk membuktikan teori



### Mari Mencoba

Bekerjalah dengan teman sekelompokmu.

### Judul

Struktur Biji dan Kecambah Monokotil dan Dikotil

### Tujuan

Mempelajari perbedaan struktur biji dan kecambah jagung (monokotil) dan kacang tanah (dikotil).

### Bahan dan Alat

- 1) Biji jagung dan kacang tanah masing-masing ± 10 butir
- 2) Wadah plastik yang berisi media kapas basah

### Cara Kerja

- A. Mempelajari Struktur Biji

## Sintesis Protein

Asam amino



Gambar 3.11 Protein

Protein adalah suatu berbagai asam amino. S yang mempunyai kema biokimia dalam proses hasil penelitian Beadle da proses metabolisme atau pengendalian enzim. Ja menyebabkan perubahan amino, yang selanjutny dalam proses metabolisme

Protein tidak disint melalui proses *transkrips* proses replikasi DNA unt translasi adalah proses pe terdapat pada RNA-d poliipeptida. Dalam tran model untuk sintesis prote transkripsi dan translasi uraian berikut ini.

### 1. Transkripsi

Transkripsi adalah p ruas DNA (gen) ke dalam enzim transkriptase seba pada utas RNA-d diter terdapat pada satu ruas I dicari padanan ribonukle menjadi rantai RNA-d.

Pembacaan oleh tran (promotor) sampai tand yang diapit oleh kedua ta Gen merupakan penger terdapat pada ruas di an



### Mari Berdiskusi

Diskusikan dengan teman sebangkumu. Di manakah tempat terjadinya transkripsi dan translasi?

### 2. Translasi

Setelah proses tran selanjutnya RNA-d kelu cetakan dalam penyusu proses translasi. Informa d terdapat pada runtuna jenis kombinasi 3 basa y sandi genetik (kodon) te menjadi satu jenis asam hanya bagian tertentu y sintesis protein, yaitu ruas dan kodon akhir (UAA, U

foto atau ilustrasi dapat membantumu dalam memahami materi

mengajakmu untuk bersosialisasi dengan teman atau guru melalui Mari Berdiskusi



berisi soal dalam bentuk pilihan dan uraian yang bertujuan mengetahui pemahamanmu terhadap materi yang telah dipelajari dalam satu bab

## M a r i B e r k o m p e t e n s i

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat di setiap soal-soal berikut.

- Makhluk hidup menunjukkan proses pertumbuhan pada peristiwa perubahan biologis, *kecuali* ....
  - pertambahan volume sel
  - pertambahan jumlah sel
  - bersifat reversible atau dapat balik
  - pertambahan ukuran sel
  - bersifat irreversible
- Ujung batang tanaman dapat membengkok ke arah datangnya cahaya karena pengaruh hormon ....
  - gas etilen
  - auksin
  - ujung akar dan xilem sekunder
  - xilem primer dan floem primer
  - ujung akar dan ujung batang
  - ujung akar saja
- Unsur yang diambil dari udara untuk pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan hijau adalah ....
  - Nitrogen
  - Oksigen
  - Karbon
  - Hidrogen
  - Natrium
- Peluruhan daun pada musim kering disebabkan oleh hormon ....
  - auksin
  - asam absisat
  - sitokinin
  - giberelin
  - gas etilen
- Contoh hormon sitokinin adalah ....
  - asam indolasetat
  - zeatin
  - asam fenil asetat
  - etepon
  - uilen
- Jika kamu menanam tumbuhan pada media air disebut ....
  - hidroponik
  - aeroponik
  - media biasa
  - media gambut
  - media arang
- Untuk menghilangkan sifat kerdil secara genetik pada tumbuhan, dibutuhkan hormon ....
  - auksin
  - sitokinin
  - kaukalin
  - giberelin
  - traumalin

berisi informasi yang berkaitan dengan materi yang sedang dibahas

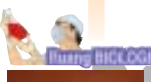
### 5. Asal-Usul Kloroplas

Seperti halnya mitokondria, kloroplas juga terbentuk melalui endosimbiosis. Pada awal pertengahan kehidupan telah terbentuk sel autotrof yang diduga mirip dengan *Cyanobakteri* (bakteri biru) pada masa sekarang ini. Sel purba heterotrof yang bernapas secara aerobik dan memiliki membran inti, menelan sel autotrof yang mampu berfotosintesis.

Sel autotrof yang hidup di dalamnya mendapatkan karbon dioksida dan air dari sel inangnya, sementara itu sel inang mendapatkan oksigen dan hasil-hasil fotosintesis. Sel autotrof ini akhirnya menjadi kloroplas. Terbentuklah sel berkloroplas, berinti, memiliki mitokondria, yang merupakan cikal bakal sel tumbuhan.

Hipotesis endosimbiosis kloroplas ini dikemukakan berdasarkan kenyataan pada saat ini, bahwa:

- Kloroplas memiliki membran rangkap dan membran luarnya mirip dengan struktur membran sel.
- Ada beberapa fotosintetik (*cyanobakteria*) yang memiliki membrane fotosintetik, yang mirip dengan tilakoid pada kloroplas.
- Didalam kloroplas terdapat DNA yang juga dijumpai pada bakteri fotosintetik.
- Kloroplas dapat bertambah banyak melalui pembelahan, seperti halnya bakteri.



Kenyataan saat ini bahwa perbedaan antara hewan tingkat rendah dan tumbuhan tingkat rendah tidak jelas. Hal ini menyebabkan para pakar berpendapat bahwa hewan dan tumbuhan berasal dari satu berasal satu, yaitu berasal dari nenek moyang yang sama. Bentuk asal yang sama ini merupakan asal dari *flagelata* yang ada saat ini. Contoh *flagelata* yang memiliki sifat seperti hewan dan tumbuhan adalah *Euglena*.  
(Encarta, 2005)



Kamu telah mempelajari asal-usul kehidupan. Hal-hal penting apa saja yang harus diketahui dalam mempelajarinya? Catatlah dalam bentuk rangkuman. Kemudian, tukarlah hasil rangkumanmu dengan rangkuman teman. Berikan masukan dan saran pada rangkuman masing-masing.

berisi rangkuman dari materi yang dipelajari dalam satu bab

Daftar Istilah	
<b>Evolusi</b>	= suatu teori yang menjelaskan bahwa makhluk terbentuk secara tiba-tiba dari benda mati.
<b>Evolusi Biokimia</b>	= suatu teori yang menjelaskan perubahan-perubahan secara perlahan-lahan tentang terbentuknya bahan-bahan organik dari bahan-bahan anorganik.

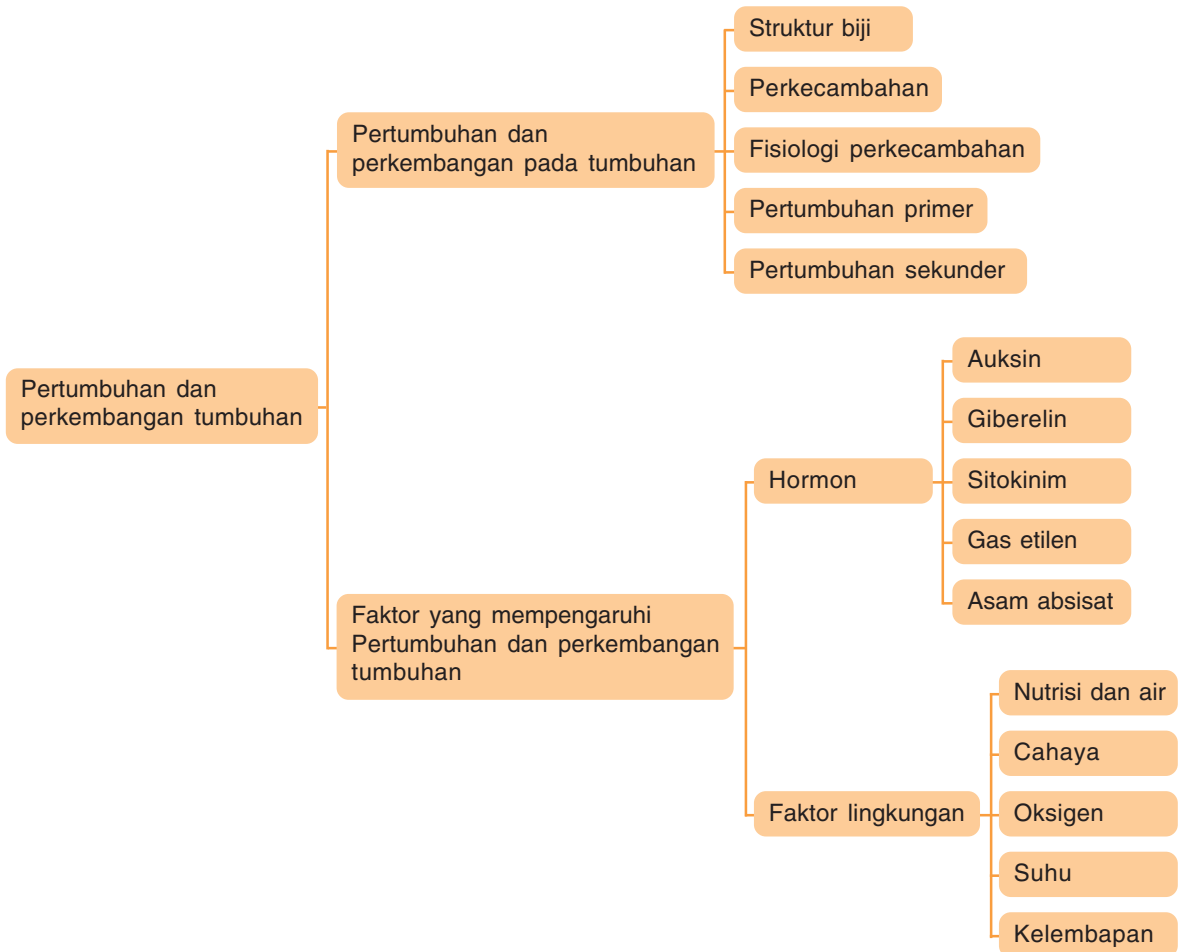
berisi beberapa istilah yang terdapat di setiap bab







Peta Konsep





Pernahkah kamu memperhatikan tinggi badanmu? Coba kamu bandingkan tinggi badanmu sewaktu di SMP dengan sekarang. Apakah ada perubahan? Kamu sekarang bertambah tinggi. Hal ini terjadi karena kamu mengalami pertumbuhan. Pertumbuhan adalah suatu proses pertambahan ukuran, baik volume, bobot, jumlah sel atau protoplasma yang bersifat *irreversible* (tidak dapat kembali ke asal).

Pertumbuhan dan perkembangan terjadi pada makhluk hidup, baik pada manusia, hewan, maupun tumbuhan. Sekarang, kamu akan mempelajari pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan. Bagaimana proses pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan, faktor-faktor apa saja yang mempengaruhinya? Kamu akan mengetahui jawabannya setelah mempelajari bab ini, mari ikuti pembahasan berikut ini.

## A Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan

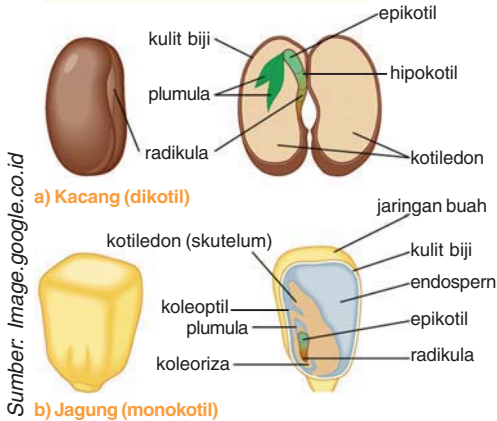
Tumbuhan merupakan salah satu organisme hidup yang memiliki ciri-ciri, antara lain tumbuh dan berkembangbiak. Tumbuhan berbiji (monokotil dan dikotil) memiliki alat perkembangbiakan berupa biji. Mari cermati.

### 1. Struktur Biji

Biji adalah alat reproduksi, penyebaran, dan kelangsungan hidup suatu tumbuhan. Selain itu, bagi tumbuhan berbiji, biji merupakan awal dari kehidupan tumbuhan baru di luar induknya.

Jika biji tanaman dikotil seperti kacang-kacangan, kamu belah menjadi dua, kamu akan mendapatkan struktur biji yang terdiri atas plumula, hipokotil, radikula, kotiledon dan embrio. Sedangkan, struktur biji tanaman monokotil, misalnya jagung terdiri atas koleoptil, plumula, radikula, koleoriza, skutelum dan endosperma.

Bagian-bagian biji tersebut mempunyai fungsi masing-masing untuk pertumbuhan tanaman. Pada biji tanaman dikotil maupun monokotil, plumula merupakan poros embrio yang tumbuh ke atas yang selanjutnya akan tumbuh menjadi daun pertama, sedangkan radikula adalah poros embrio yang tumbuh ke bawah dan akan menjadi akar primer. Pada tanaman monokotil, misalnya jagung, kotiledon mengalami modifikasi menjadi *skutelum* dan *koleoptil*. Skutelum berfungsi sebagai alat penyerap makanan yang terdapat di dalam endosperma, sedangkan koleoptil berfungsi melindungi plumula. Selain itu, pada jagung juga terdapat koleoriza yang berfungsi melindungi radikula.



**Gambar 1.1**  
Struktur biji monokotil (a) dan dikotil (b)

**Mari Berdiskusi**

Diskusikan dengan teman sebangkumu.  
Apa perbedaan biji monokotil dan dikotil?



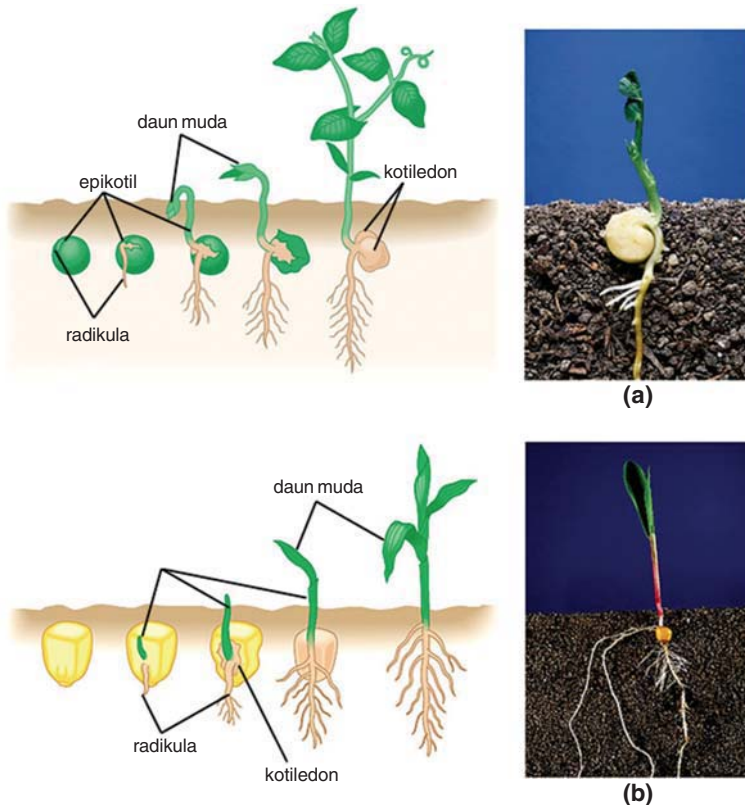
## 2. Perkecambahan

Perkecambahan adalah peristiwa tumbuhnya embrio di dalam biji menjadi tanaman baru. Biji akan berkecambah jika berada dalam lingkungan yang sesuai. Proses perkecambahan ini memerlukan suhu yang cocok, banyaknya air yang memadai, persediaan oksigen yang cukup, kelembapan, dan cahaya.

Struktur biji yang berbeda antara tumbuhan monokotil dan dikotil akan menghasilkan struktur kecambah yang berbeda pula. Pada tumbuhan monokotil, struktur kecambah meliputi radikula, akar primer, plumula, koleoptil, dan daun pertama. Sedangkan, pada kecambah tumbuhan dikotil terdiri atas akar primer, hipokotil, kotiledon, epikotil, dan daun pertama.

Berdasarkan letak kotiledonnya, perkecambahan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu *epigeal* dan *hipogeal*.

- Pada perkecambahan *epigeal*, kotiledon terdapat di permukaan tanah karena terdorong oleh pertumbuhan hipokotil yang memanjang ke atas.
- Pada perkecambahan *hipogeal*, kotiledon tetap berada di bawah tanah, sedangkan plumula keluar dari permukaan tanah disebabkan pertumbuhan epikotil yang memanjang ke arah atas.



**Mari Berdiskusi**

Diskusikan dengan teman sebangkumu.  
Apa perbedaan antara perkecambahan epigeal dan hipogeal?

**Gambar 1.2**  
Perkecambahan epigeal (a) dan hipogeal (b)



Untuk mengetahui struktur biji dan kecambah monokotil dan dikotil. Coba kamu lakukan percobaan berikut ini.



### Mari Mencoba

*Bekerjalah dengan teman sekelompokmu.*

#### Judul

Struktur Biji dan Kecambah Monokotil dan Dikotil

#### Tujuan

Mempelajari perbedaan struktur biji dan kecambah jagung (monokotil) dan kacang tanah (dikotil).

#### Bahan dan Alat

- 1) Biji jagung dan kacang tanah masing-masing  $\pm$  10 butir
- 2) Wadah plastik yang berisi media kapas basah

#### Cara Kerja

##### A. Mempelajari Struktur Biji

- 1) Amati biji jagung dan biji kacang tanah dengan cara membelah biji tersebut. Sehingga, kamu dapat mengamati embrio yang ada di dalam biji.
- 2) Gambarlah struktur biji jagung dan kacang tanah tersebut dan tuliskan bagian-bagiannya.

##### B. Mempelajari Struktur Kecambah

- 1) Kecambahkan biji jagung dan biji kacang tanah dalam wadah plastik dengan media kapas basah.
- 2) Setelah berumur  $\pm$  1 minggu, gambar dan tuliskan bagian-bagian kecambah.

#### Pertanyaan

- 1) Tuliskan perbedaan antara struktur biji jagung dan biji kacang tanah.
- 2) Jelaskan fungsi dari bagian-bagian embrio biji yang telah kamu amati.
- 3) Tuliskan perbedaan antara kecambah jagung dan kacang tanah.
- 4) Tuliskan perbedaan antara tanaman dikotil dan monokotil.

Apa yang dapat disimpulkan? Diskusikan hasil kelompokmu dengan kelompok lain.

### 3. Fisiologi Perkecambahan

Untuk memulai kehidupannya, biji harus berkecambah menjadi tanaman baru. Perkecambahan biji dimulai dengan imbibisi dan diakhiri ketika radikula memanjang atau muncul melewati kulit. Perkecambahan biji dapat dibagi menjadi 4 tahap, yaitu:

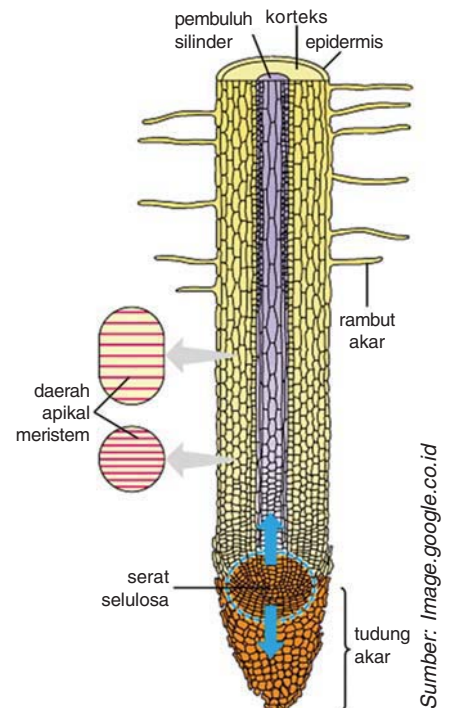
- Hidrasi atau imbibisi; selama kedua periode tersebut, air masuk ke dalam embrio dan membasahi protein dan koloid lain.
- Pembentukan atau pengaktifan enzim yang menyebabkan peningkatan aktivitas metabolik.
- Pemanjangan sel radikula, diikuti munculnya radikula dari kulit biji.
- Pertumbuhan kecambah selanjutnya adalah pertumbuhan primer.

### 4. Pertumbuhan Primer

Setelah proses perkecambahan, tumbuhan mengalami pertumbuhan dan perkembangan lebih lanjut. Tumbuhan akan membentuk akar, batang, dan daun. Ujung batang dan ujung akar akan tumbuh memanjang karena adanya aktivitas sel-sel meristematis. Proses ini disebut *pertumbuhan primer*. Sel-sel meristem dapat juga berdiferensiasi menjadi sel-sel yang memiliki struktur dan fungsi yang khusus.

Daerah pertumbuhan pada ujung batang dan ujung akar dapat dibedakan menjadi 3 daerah, yaitu:

- Daerah pembelahan terdapat pada ujung akar. Sel-sel meristem di daerah ini akan mengalami pertumbuhan dan perkembangan struktur akar pertama.
- Daerah pemanjangan terletak setelah daerah pembelahan. Pada daerah ini, sel-sel mengalami pembesaran dan pemanjangan.
- Daerah diferensiasi. Daerah yang sel-selnya berdiferensiasi menjadi sel-sel yang memiliki struktur dan fungsi khusus.



**Gambar 1.3**  
Daerah pemanjangan akar

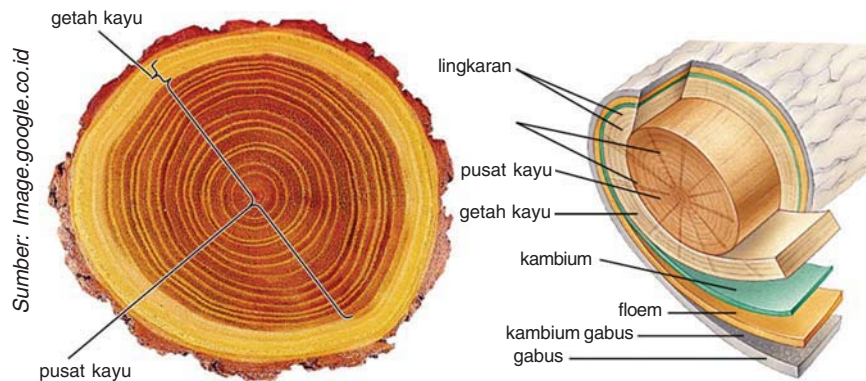
### 5. Pertumbuhan Sekunder

Di antara xilem dan floem terdapat kambium yang sel-selnya aktif membelah. Pada tumbuhan dikotil, jaringan xilem dan floem primer terdapat pada batang dan akar yang hidup selama periode yang relatif pendek. Kemudian, fungsinya diambil alih oleh jaringan pembuluh sekunder yang dihasilkan oleh kambium yang aktif membelah.



Pertumbuhan kambium ke arah luar membentuk floem sekunder, dan ke arah dalam membentuk xilem sekunder sehingga batang tumbuhan bertambah besar. Aktivitas kambium yang membentuk xilem dan floem sekunder ini disebut *pertumbuhan sekunder*. Semua jaringan yang ada di sebelah dalam kambium disebut *kayu*, sedangkan di sebelah luar kambium disebut *kulit* atau papagan.

Pembentukan xilem dan floem sekunder pada batang terjadi karena aktivitas kambium yang dipengaruhi oleh musim. Jika kondisi lingkungan kurang menguntungkan, maka aktivitas kambium menjadi rendah sehingga xilem dan floem sekunder yang dihasilkan sedikit. Namun sebaliknya, pada musim hujan, aktivitas kambium ini akan meningkat. Perbedaan aktivitas kambium akan menghasilkan jejak pada batang yang disebut *lingkaran tahun*.



**Gambar 1.4**  
Lingkaran tahun

## B

### Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan

Pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan sangat dipengaruhi oleh faktor dalam dan faktor luar tumbuhan. Faktor dalam adalah semua faktor yang terdapat dalam tubuh tumbuhan antara lain faktor genetik yang terdapat di dalam gen dan hormon. Gen berfungsi mengatur sintesis enzim untuk mengendalikan proses kimia dalam sel. Hal ini yang menyebabkan pertumbuhan dan perkembangan. Sedangkan, hormon merupakan senyawa organik tumbuhan yang mampu menimbulkan respon fisiologi pada tumbuhan.

Faktor luar tumbuhan yang sangat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan, yaitu faktor lingkungan berupa cahaya, suhu, oksigen dan kelembapan. Untuk lebih memahami, mari cermati uraian berikut ini.

#### 1. Hormon

Hormon tumbuhan adalah suatu senyawa organik yang disintesis di salah satu bagian tumbuhan dan dipindahkan ke

bagian yang lain, pada konsentrasi yang sangat rendah mampu menimbulkan respon fisiologis. Hormon mempengaruhi respon pada bagian tumbuhan, seperti pertumbuhan akar, batang, pucuk, dan pembungaan. Respon tersebut tergantung pada spesies, bagian tumbuhan, fase perkembangan, konsentrasi hormon, interaksi antar hormon, dan berbagai faktor lingkungan.

Terdapat lima hormon tumbuhan yang dikenal, yaitu auksin, giberelin, sitokinin, gas etilen, dan asam absisat (ABA). Mari cermati.

#### a. Auksin

Istilah *auksin* pertama kali digunakan oleh **Frits Went** yang menemukan bahwa suatu senyawa menyebabkan pembengkokan koleoptil ke arah cahaya. Pembengkokan koleoptil yang terjadi akibat terpacunya pemanjangan sel pada sisi yang ditemeli potongan agar yang mengandung auksin.

Auksin yang ditemukan **Went** kini diketahui sebagai asam indolasetat (IAA). Selain IAA, tumbuhan mengandung tiga senyawa lain yang dianggap sebagai hormon auksin, yaitu 4-kloro indolasetat (4 kloro IAA) yang ditemukan pada biji muda jenis kacang-kacangan, asam fenilasetat (PAA) yang ditemui pada banyak jenis tumbuhan, dan asam indolbutirat (IBA) yang ditemukan pada daun jagung dan berbagai jenis tumbuhan dikotil.

Auksin berperan dalam berbagai macam kegiatan tumbuhan di antaranya adalah:

##### 1) Perkembangan buah

Pada waktu biji matang berkembang, biji mengeluarkan auksin ke bagian-bagian bunga sehingga merangsang pembentukan buah. Dengan demikian, pemberian auksin pada bunga yang tidak diserbuki akan merangsang perkembangan buah tanpa biji. Hal ini disebut *partenokarpi*.

##### 2) Dominansi apikal

Dominansi apikal adalah pertumbuhan ujung pucuk suatu tumbuhan yang menghambat perkembangan kuncup lateral di batang sebelah bawah. Dominansi apikal merupakan akibat dari transpor auksin ke bawah yang dibuat di dalam meristem apikal.

##### 3) Absisi

Daun muda dan buah muda membentuk auksin, agar keduanya tetap kuat menempel pada batang. Tetapi, bila pembentukan auksin berkurang, selapis sel khusus terbentuk di pangkal tangkai daun dan buah sehingga daun dan buah gugur.



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 1.5**  
Auksin di pucuk hilang apabila pucuk dipangkas



#### 4) Pembentukan akar adventif

Auksin merangsang pembentukan akar liar yang tumbuh dari batang atau daun pada banyak spesies.

#### b. Giberelin



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 1.6**

Pengaruh giberelin pada buah anggur (kanan)

Giberelin pertama kali ditemukan di Jepang pada 1930 dari kajian terhadap tanaman padi yang sakit. Padi yang terserang jamur *Gibberella fujikuroi* tersebut tumbuh terlalu tinggi. Para ilmuwan Jepang mengisolasi zat dari biakan jamur tersebut. Zat ini dinamakan *giberelin*. Bentuk-bentuk giberelin diantaranya adalah GA3, GA1, GA4, GA5, GA19, GA20, GA37, dan GA38. Giberelin diproduksi oleh jamur dan tumbuhan tinggi.

Giberelin disintesis di hampir semua bagian tanaman, seperti biji, daun muda, dan akar. Giberelin memiliki beberapa peranan, antara lain:

- 1) Memacu perpanjangan secara abnormal batang utuh.
- 2) Perkecambahan biji dan mobilisasi cadangan makanan dari endosperm untuk pertumbuhan embrio.
- 3) Perkembangan bunga dan buah.
- 4) Menghilangkan sifat kerdil secara genetik pada tumbuhan.
- 5) Merangsang pembelahan dan pemanjangan sel.

#### c. Sitokinin

Kinetin merupakan sitokinin sintetik yang pertama ditemukan oleh *Carlos Miller* pada ikan kering. Setelah itu ditemukan senyawa sitokinin yang lain dalam endosperma cair jagung, yaitu *zeatin*. Sitokinin sintetik lainnya adalah BAP (6-benzilaminopurin) dan 2-ip.

Sitokinin mempunyai beberapa fungsi, antara lain:

- 1) Memacu pembelahan sel dalam jaringan meristematik.
- 2) Merangsang diferensiasi sel-sel yang dihasilkan dalam meristem.
- 3) Mendorong pertumbuhan tunas samping dan perluasan daun.
- 4) Menunda penuaan daun.
- 5) Merangsang pembentukan pucuk dan mampu memecah masa istirahat biji (*breaking dormancy*).

#### d. Gas etilen

Buah-buahan terutama yang sudah tua melepaskan gas yang disebut *etilen*. Etilen disintesis oleh tumbuhan dan

menyebabkan proses pemasakan yang lebih cepat. Selain etilen yang dihasilkan oleh tumbuhan, terdapat etilen sintetik, yaitu etepon (asam 2-kloroetifosfonat). Etilen sintetik ini sering digunakan para pedagang untuk mempercepat pemasakan buah.

Selain memacu pematangan, etilen juga memacu perkecambahan biji, menebalkan batang, mendorong gugurnya daun, dan menghambat pemanjangan batang kecambah. Selain itu, etilen menunda pembungaan, menurunkan dominansi apikal dan inisiasi akar, dan menghambat pemanjangan batang kecambah.

#### e. Asam absisat (ABA)

Asam absisat (ABA) merupakan penghambat (inhibitor) dalam kegiatan tumbuhan. Hormon ini dibentuk pada daun-daun dewasa. Asam absisat mempunyai peran fisiologis diantaranya adalah:

- 1) Mempercepat absisi bagian tumbuhan yang menua, seperti daun, buah dan dormansi tunas.
- 2) Menginduksi pengangkutan fotosintesis ke biji yang sedang berkembang dan mendorong sintesis protein simpanan.
- 3) Mengatur penutupan dan pembukaan stomata terutama pada saat cekaman air.

Untuk lebih memahami pengaruh hormon pada tumbuhan, coba kamu lakukan kegiatan di bawah ini.



#### Mari Mencoba

*Bekerjalah dengan teman sekelompokmu.*

#### Judul

Pengaruh Berbagai Konsentrasi Auksin terhadap Inisiasi Akar

#### Tujuan

Mengetahui pengaruh auksin terhadap inisiasi akar.

#### Bahan dan Alat

- 1) Kecambah kacang panjang berumur lima hari sebanyak 12 buah
- 2) Botol dengan tutup yang berlubang dan di luarnya dilapisi oleh plastik hitam sebanyak 4 buah
- 3) Pisau atau silet dan penggaris



### Cara Kerja

1. Siapkan 4 buah botol yang berisi 200 ml larutan:
  - a. Destilata (air)
  - b. Larutan IAA dengan konsentrasi 0,1 mg/l
  - c. Larutan IAA dengan konsentrasi 0,5 mg/l
  - d. Larutan IAA dengan konsentrasi 1,0 mg/l
2. Potong kecambah kacang panjang tepat di atas permukaan media tanamnya.
3. Hilangkan kotiledon, dan potong hipokotil pada 5 cm dari bekas tempat menempelnya kotiledon. Dengan cepat masukkan hipokotil tersebut ke dalam lubang pada tutup botol sehingga daun berada di luar botol. Letakkan semua botol pada meja lab. Seminggu kemudian, lakukan pengamatan terhadap inisiasi akar. Hitunglah jumlah akar dan panjang akar. Bandingkan hasil inisiasi akar antara kontrol, Larutan IAA 0,1 mg/l, Larutan IAA 0,5 mg/l, dan Larutan IAA 1,0 mg/l.

Apa yang dapat disimpulkan? Diskusikan hasil kelompokmu dengan kelompok lain.

## 2. Faktor Lingkungan

Faktor-faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan, antara lain: cahaya, air, mineral, kelembapan, suhu, dan gaya gravitasi.

### a. Nutrisi dan Air

Pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan membutuhkan nutrisi. Nutrisi ini harus tersedia dalam jumlah cukup dan seimbang, antara satu dengan yang lain. Nutrisi diambil tumbuhan dari dalam tanah dan udara. Unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tumbuhan dikelompokkan menjadi dua, yaitu *zat-zat organik* (C, H, O, dan N) dan *garam anorganik* ( $Fe^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ , dan lain-lain).

Berdasarkan jumlah kebutuhan tumbuhan, unsur-unsur dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu *unsur makro* dan *unsur mikro*. Unsur yang dibutuhkan tumbuhan dalam jumlah besar disebut unsur makro. Contohnya: C, H, O, N, P, K, S, dan asam nukleat. Sedangkan, unsur mikro adalah unsur-unsur yang dibutuhkan dalam jumlah sedikit. Contohnya: Cl, Mn, Fe, Cu, Zn, B, dan Mo.

Pertumbuhan tanaman akan terganggu jika salah satu unsur yang dibutuhkan tidak terpenuhi. Misalnya, kurangnya unsur nitrogen dan fosfor pada tanaman menyebabkan tanaman menjadi kerdil. Kekurangan magnesium dan kalsium menyebabkan tanaman mengalami *klorosis* (daun berwarna pucat).

Pemenuhan kebutuhan unsur tumbuhan diperoleh melalui penyerapan oleh akar dari tanah bersamaan dengan penyerapan air. Air dibutuhkan tanaman untuk fotosintesis, tekanan turgor sel, mempertahankan suhu tubuh tumbuhan, transportasi, dan medium reaksi enzimatik.

Penemuan zat-zat yang dibutuhkan oleh tumbuhan untuk pertumbuhan dan perkembangan menyebabkan manusia mengembangkan suatu cara penanaman tumbuhan dengan memberikan nutrisi yang tepat bagi tumbuhan. Contoh aplikasinya adalah kultur jaringan dan hidroponik. Kultur jaringan membudidayakan suatu jaringan tanaman menjadi tanaman kecil yang mempunyai sifat seperti induknya. Media tanam kultur jaringan berupa larutan atau padatan yang kaya nutrisi untuk tumbuh tanaman. Kultur jaringan ini dapat menghasilkan tanaman baru dalam jumlah banyak dalam waktu yang relatif singkat. Sedangkan, hidroponik adalah metode penanaman dengan menggunakan air kaya nutrisi sebagai media tanam. Untuk lebih memahami, mari cermati Tabel 1.1 Nutrisi tumbuhan berikut ini.



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 1.7**  
Tanaman hidroponik

**Tabel 1.1** Nutrisi Tumbuhan

Nutrien	Bentuk yang Tersedia	Fungsi Utama	Gejala Kekurangan
<b>Makronutrien</b>			
Karbon (C)	CO <sub>2</sub> (udara)	Penyusun bahan organik (karbohidrat, lemak, protein, enzim dan turunannya)	Pertumbuhan dan metabolisme terhambat, akhirnya mati
Hidrogen (H)	H <sub>2</sub> O (air)	Penyusun bahan organik (karbohidrat, lemak, protein, enzim dan turunannya)	Pertumbuhan dan metabolisme terhambat, akhirnya mati
Oksigen (O)	O <sub>2</sub> (udara), H <sub>2</sub> O (air)	Penyusun bahan organik (karbohidrat, lemak, protein, enzim dan turunannya)	Pertumbuhan dan metabolisme terhambat, akhirnya mati
Fosfor (P)	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Penyusun asam nukleat, fosfolipid membran sel, ATP, NADP, koenzim	Pertumbuhan terhambat, daun berwarna hijau tua, daun bercak kemerahan, ada bagian yang mati
Kalium (K)	K <sup>+</sup>	Kofaktor atau aktivator enzim dalam sintesis protein dan metabolisme karbohidrat, untuk meniaga keseimbangan ion	Perubahan karbohidrat terhambat, daun bercak-bercak kuning
Nitrogen (N)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>-</sup> dari tanah		
Sulfur (S)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Penyusun asam amino, protein, asam nukleat, klorofil, hormon, dan enzim	Pertumbuhan terhambat, daun pucat dan kuning
Kalsium (Ca)	Ca <sup>2+</sup>	Penyusun asam amino sistein dan metionin, koenzim-A dan beberapa vitamin: tiamin dan biotin	Daun mengalami klorosis (menguning)
Besi (Fe)	Fe <sup>3+</sup> , Fe <sup>2+</sup>	Menjaga permeabilitas membran, membentuk kofaktor enzim dalam metabolisme karbohidrat	Pertumbuhan terhambat, gangguan aktivitas meristem ujung akhirnya mati, klorosis



Magnesium	Mg <sup>2+</sup>	Berperan dalam pembentukan klorofil, merupakan komponen penting enzim sitokrom, peroksidase, dan katalase	Klorosis, daun menjadi kuning pucat, dan mati
<b>Mikronutrien</b> Boron (B)	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	Penyusun klorofil dan kofaktor enzim dalam metabolisme karbohidrat	Klorosis dari batang bawah ke ujung daun, pucat dan mati
Mangan (Mn)	Mn <sup>2+</sup>	Berperan dalam translokasi glukosa	Ujung batang mengering dan rusak
M o l i b d e n u m (Mo)	MoO <sub>4</sub>	Komponen enzim yang mereduksi nitrat menjadi nitrit. Penting untuk fiksasi N pada bakteri	Pertumbuhan terhambat
Seng (Zn)	Zn <sup>2+</sup>	Dibutuhkan dalam sintesis triptofan (prekursor auksin), aktivator beberapa enzim dehidrogenase dan berperan dalam sintesis protein	Ukuran daun dan panjang ruas-ruas menjadi berkurang
Tembaga (Cu)	CU <sup>+</sup> , CU <sup>2+</sup>	Berperan dalam transfer elektron di dalam kloroplas, komponen enzim yang berperan dalam reaksi redoks	Daun muda berwarna hijau tua, daun berguguran
Klor (Cl)	Cr	Aktivator fotosintesis dan kesetimbangan ionik	Daun layu, klorosis, akar pendek dan menebal

## b. Cahaya

Kualitas, intensitas, dan lamanya radiasi yang mengenai tumbuhan mempunyai pengaruh yang besar terhadap berbagai proses fisiologi tumbuhan. Cahaya mempengaruhi pembentukan klorofil, fotosintesis, fototropisme, dan fotoperiodisme. Efek cahaya meningkatkan kerja enzim untuk memproduksi zat metabolik untuk pembentukan klorofil. Sedangkan, pada proses fotosintesis, intensitas cahaya mempengaruhi laju fotosintesis saat berlangsung reaksi terang. Jadi cahaya secara tidak langsung mengendalikan pertumbuhan dan perkembangan tanaman, karena hasil fotosintesis berupa karbohidrat digunakan untuk pembentukan organ-organ tumbuhan.

Perkembangan struktur tumbuhan juga dipengaruhi oleh cahaya (fotomorfogenesis). Efek fotomorfogenesis ini dapat dengan mudah diketahui dengan cara membandingkan kecambah yang tumbuh di tempat terang dengan kecambah dari tempat gelap. Kecambah yang tumbuh di tempat gelap akan mengalami *etiolasi* atau kecambah tampak pucat dan lemah karena produksi klorofil terhambat oleh kurangnya cahaya. Sedangkan, pada kecambah yang tumbuh di tempat terang, daun lebih berwarna hijau, tetapi batang menjadi lebih pendek karena aktifitas hormon pertumbuhan auksin terhambat oleh adanya cahaya.

### 1) Fototropisme

Percobaan N **Cholodny** dan **Frits went** menerangkan bahwa pada ujung koleoptil tanaman, pemanjangan sel yang lebih cepat terjadi di sisi yang teduh daripada sisi yang terkena cahaya. Sehingga, koleoptil membelok ke arah datangnya cahaya. Hal ini terjadi, karena hormon auksin yang berguna untuk pemanjangan sel berpindah dari sisi tersinari ke sisi terlindung.

Banyak jenis tumbuhan mampu melacak matahari, dalam hal ini lembar datar daun selalu hampir tegak lurus terhadap matahari sepanjang hari. Kejadian tersebut dinamakan *diafototropisme*. Fototropisme ini terjadi pada famili *Malvaceae*.

Untuk lebih memahami pengaruh cahaya terhadap tanaman atau perkecambahan, coba kamu rencanakan dan laksanakan kegiatan berikut ini dengan teman sekelompokmu.



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 1.8**  
Pengaruh auksin terhadap fototropisme



### Mari Mencoba

Bekerjalah dengan teman sekelompokmu.

#### Judul

Pengamatan Pengaruh Cahaya terhadap Perkecambahan

#### Tujuan

Mengetahui pengaruh cahaya terhadap perkecambahan.

#### Alat dan Bahan

- 1) Dua buah cawan petri
- 2) Kapas secukupnya
- 3) Biji kacang hijau sebanyak 20 biji
- 4) Air secukupnya
- 5) Penggaris

#### Cara Kerja

- 1) Berilah label pada cawan petri (misalnya A dan B)
- 2) Letakkan kapas pada cawan petri A dan B, kemudian basahi dengan air secukupnya sampai merata.
- 3) Rendamlah 20 biji kacang hijau selama kurang lebih 2 jam. Kemudian, masukkan 10 biji kacang hijau ke dalam cawan petri A dan 10 biji ke dalam cawan petri B.
- 4) Letakkan cawan petri A di tempat yang terkena cahaya matahari dan cawan B di tempat gelap. Agar kelembapan tetap terjaga, beri air secukupnya setiap hari.



- 5) Amati dengan cermat setiap hari, bagaimana kondisi kecambah dan ukurlah panjang kecambah di kedua cawan tersebut. Kemudian, catat hasilnya ke dalam Tabel 1.2 dan buatlah grafiknya setelah 5 hari berkecambah. Bandingkan panjang kecambah, warna, dan ketegaran kecambah pada kedua cawan.

**Tabel 1.2** Pengamatan kecambah

Hari ke-	Panjang Kecambah (cm)		Kondisi Kecambah	
	A	B	A	B
1				
2				
3				
4				
5				

- 6) Buatlah kesimpulan tentang perbedaan panjang dan kondisi kecambah karena pengaruh cahaya terhadap perkecambahan.
- 7) Diskusikan hasil kelompokmu dengan kelompok lain.

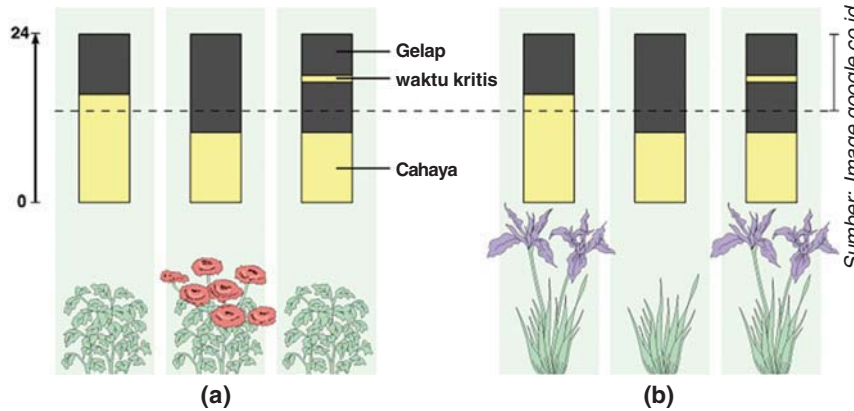
## 2) Fotoperiodisme

Interval penyinaran sehari-hari terhadap tumbuhan mempengaruhi proses pembungaan. Lama siang hari di daerah tropis kira-kira 12 jam. Sedangkan, di daerah yang memiliki empat musim dapat mencapai 16 - 20 jam. Respon tumbuhan yang diatur oleh panjangnya hari ini disebut *fotoperiodisme*. *Fotoperiodisme* dipengaruhi oleh fitokrom (pigmen penyerap cahaya). *Fotoperiodisme* menjelaskan mengapa pada spesies tertentu biasanya berbunga serempak. Tumbuhan yang berbunga bersamaan ini sangat menguntungkan, karena memberi kesempatan terjadinya penyerbukan silang.

Berdasarkan panjang hari, tumbuhan dapat dibedakan menjadi empat macam, yaitu:

- a) Tumbuhan hari pendek, tumbuhan yang berbunga jika terkena penyinaran kurang dari 12 jam sehari. Tumbuhan hari pendek contohnya krisan, jagung, kedelai, anggrek, dan bunga matahari.
- b) Tumbuhan hari panjang, tumbuhan yang berbunga jika terkena penyinaran lebih dari 12 jam (14 - 16 jam) sehari. Tumbuhan hari panjang, contohnya kembang sepatu, bit gula, selada, dan tembakau.
- c) Tumbuhan hari sedang, tumbuhan yang berbunga jika terkena penyinaran kira-kira 12 jam sehari. Tumbuhan hari sedang contohnya kacang dan tebu.

- d) Tumbuhan hari netral, tumbuhan yang tidak responsif terhadap panjang hari untuk pembungaannya. Tumbuhan hari netral contohnya mentimun, padi, wortel liar, dan kapas.



**Mari Berdiskusi**

Diskusikan dengan teman sebangkumu. Coba kamu amati Gambar 1.8. Jelaskan pengaruh pencahayaan terhadap kedua tanaman tersebut.

**Gambar 1.8**

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

### c. Oksigen

Oksigen mempengaruhi pertumbuhan tumbuhan. Dalam respirasi pada tumbuhan, terjadi penggunaan oksigen untuk menghasilkan energi. Energi ini digunakan, antara lain untuk pemecahan kulit biji dalam perkecambahan, dan aktivitas tumbuhan.

### d. Suhu udara

Pertumbuhan dipengaruhi oleh kerja enzim dalam tumbuhan. Sedangkan, kerja enzim dipengaruhi oleh suhu. Dengan demikian, pertumbuhan tumbuhan sangat dipengaruhi oleh suhu. Setiap spesies atau varietas mempunyai suhu minimum, rentang suhu optimum, dan suhu maksimum. Di bawah suhu minimum ini tumbuhan tidak dapat tumbuh, pada rentang suhu optimum, laju tumbuhnya paling tinggi, dan di atas suhu maksimum, tumbuhan tidak tumbuh atau bahkan mati.

### e. Kelembapan

Laju transpirasi dipengaruhi oleh kelembapan udara. Jika kelembapan udara rendah, transpirasi akan meningkat. Hal ini memacu akar untuk menyerap lebih banyak air dan mineral dari dalam tanah. Meningkatnya penyerapan nutrisi oleh akar akan meningkatkan pertumbuhan tanaman.





Kamu telah mempelajari pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Hal-hal penting apa sajakah yang harus diketahui dalam mempelajarinya? Catatlah dalam bentuk rangkuman. Kemudian, tukarlah hasil rangkumanmu dengan rangkuman teman. Berikan masukan dan saran pada rangkuman masing-masing.

## Daftar Istilah

<b>Epigeal</b>	= tipe perkecambahan yang menghasilkan kotiledon dan epikotil keluar dari biji, karena pemanjangan hipokotil. Sehingga, kotiledon keluar ke atas tanah.
<b>Etiolasi</b>	= pertumbuhan tumbuhan dalam keadaan gelap, batangnya memanjang dan daun berwarna pucat karena kurang cahaya.
<b>Hipogeal</b>	= tipe perkecambahan yang menghasilkan sedikit hipokotil sehingga kotiledon tetap berada di dalam biji. Oleh karena itu, kotiledon tidak keluar ke atas tanah.
<b>Klorosis</b>	= keadaan abnormal pada daun yang kehilangan klorofil sehingga daun berwarna pucat kekuningan. Keabnormalan ini disebabkan karena penyakit, kurang pencahayaan dan defisiensi besi, magnesium atau tembaga.
<b>Koleoptil</b>	= selaput yang menyelubungi jaringan ujung pangkal daun pertama pada embrio monokotil.
<b>Kotiledon</b>	= kepingan biji yang merupakan daun pertama lembaga pada tumbuhan jumlahnya satu pada monokotil dan dua pada dikotil.
<b>Lingkar tahun</b>	= daerah pada irisan melintang batang yang dapat dibedakan antara floem dan xilem yang terbentuk dalam satu tahun.
<b>Partenokarpi</b>	= perkembangan buah tanpa biji, karena tidak terjadi pembuahan.

## M a r i B e r k o m p e t e n s i

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat di setiap soal-soal berikut.

- Makhluk hidup menunjukkan proses pertumbuhan pada peristiwa perubahan biologis, *kecuali* ....
  - pertambahan volume sel
  - pertambahan jumlah sel
  - bersifat reversible atau dapat balik
  - pertambahan ukuran sel
  - bersifat irreversible
- Ujung batang tanaman dapat membengkok ke arah datangnya cahaya karena pengaruh hormon ....
  - gas etilen
  - auksin
  - asam absisat
  - giberelin
  - sitokinin
- Buah semangka tanpa biji dapat kamu peroleh dengan memberikan hormon ....
  - sitokinin
  - giberelin
  - asam absisat
  - auksin
  - etilen
- Unsur makro yang berperan sebagai kofaktor enzim tumbuhan adalah ....
  - C, H, dan O
  - O, P, dan H
  - K, Ca, dan Mg
  - N, C, dan O
  - K, Ca, dan N
- Hormon yang berperan mempercepat proses pemasakan buah adalah hormon ....
  - gas etilen
  - asam absisat
  - auksin
  - giberelin
  - sitokinin
- Yang termasuk pertumbuhan sekunder adalah pertumbuhan pada bagian-bagian ....
  - xilem sekunder dan floem sekunder
  - ujung akar dan xilem sekunder
  - xilem primer dan floem primer
  - ujung akar dan ujung batang
  - ujung akar saja
- Unsur yang diambil dari udara untuk pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan hijau adalah ....
  - Nitrogen
  - Oksigen
  - Karbon
  - Hidrogen
  - Natrium
- Peluruhan daun pada musim kering disebabkan oleh hormon ....
  - auksin
  - asam absisat
  - sitokinin
  - giberelin
  - gas etilen
- Contoh hormon sitokinin adalah ....
  - asam indolasetat
  - zeatin
  - asam fenil asetat
  - etepon
  - uilen
- Jika kamu menanam tumbuhan pada media air disebut ....
  - hidroponik
  - aerponik
  - media biasa
  - media gambut
  - media arang
- Untuk menghilangkan sifat kerdil secara genetik pada tumbuhan, dibutuhkan hormon ....
  - auksin
  - sitokinin
  - kaukalin
  - giberelin
  - traumalin

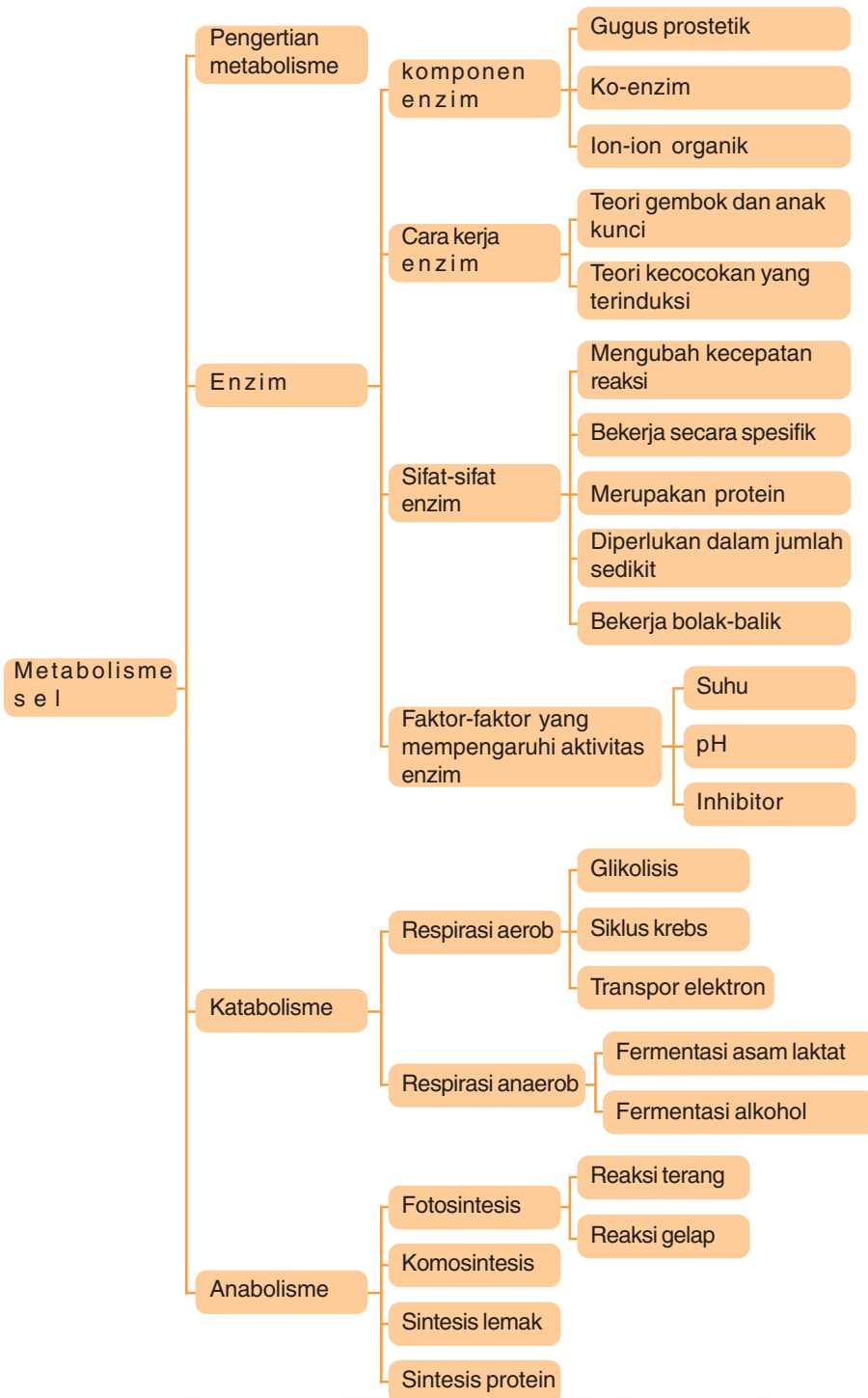


12. Untuk membentuk kalus pada tumbuhan, dibutuhkan hormon ....
- a. auksin
  - b. sitokinim
  - c. kaukalin
  - d. giberelin
  - e. traumalin
13. Unsur yang diperlukan tumbuhan hijau dari udara untuk proses fotosintesis adalah ....
- a. oksigen
  - b. nitrogen
  - c. fosfat
  - d. hidrogen
  - e. karbon
14. Pernyataan mengenai cahaya di bawah ini benar, *kecuali* ....
- a. cahaya diperlukan untuk proses fotosintesis
  - b. cahaya mempercepat pertumbuhan
  - c. tanpa cahaya terjadi etiolasi
  - d. cahaya inframerah berperan untuk menentukan suhu lingkungan.
  - e. cahaya merah, dan nila diperlukan untuk fotosintesis
15. Tunas dapat membengkok ke atas karena pengaruh hormon ....
- a. auksin
  - b. sitokinin
  - c. kaukalin
  - d. giberelin
  - e. traumalin

**B. Jawablah soal-soal berikut dengan singkat dan jelas.**

1. Tuliskanlah tiga daerah pertumbuhan pada ujung batang dan ujung akar menurut aktivitasnya.
2. Jelaskan bagaimana terbentuknya lingkaran tahun pada batang dikotil.
3. Jelaskan mengenai fototropisme tumbuhan.
4. Tuliskanlah empat jenis tumbuhan berdasarkan pengaruh lamanya siang.
5. Jelaskan penggolongan nutrien tumbuhan berdasarkan kebutuhannya.

Peta Konsep





Sumber: Dokumen penerbit



**Gambar 2.1**  
Orang sedang berenang

Selama ini kamu biasa beraktivitas, seperti berlari, makan, berenang dan lain-lain. Tetapi, pernahkah kamu berpikir, dari manakah energi atau tenaga yang kamu peroleh? Tenaga yang kamu peroleh berasal dari makanan yang kamu makan. Makanan ini dicerna oleh alat pencernaan menjadi sari-sari makanan, kemudian diserap oleh tubuh melalui pembuluh darah ke sel-sel tubuh. Di dalam mitokondria sel, zat makanan ini diurai untuk menghasilkan energi. Proses ini disebut proses penguraian atau *katabolisme*. Katabolisme merupakan salah satu proses metabolisme sel. Kamu akan mengetahui tentang metabolisme pada organisme mempelajari bab ini, mari ikuti uraiannya.

## A Pengertian Metabolisme

Makhluk multiseluler, baik manusia, hewan, maupun tumbuhan tersusun atas jutaan sel. Tiap sel memiliki fungsi tertentu untuk kelangsungan hidup suatu organisme. Untuk menjalankan fungsinya, sel melakukan proses metabolisme. Metabolisme adalah reaksi-reaksi kimia yang terjadi di dalam sel. Reaksi kimia ini akan mengubah suatu zat menjadi zat lain.

Metabolisme sel dapat dibagi menjadi dua, yaitu katabolisme dan anabolisme. Katabolisme adalah proses penguraian senyawa untuk menghasilkan energi. Sedangkan, anabolisme adalah proses sintesis senyawa atau komponen dalam sel hidup. Umumnya, dalam proses metabolik melibatkan aktivitas katalis biologik yang disebut *enzim* dengan melibatkan ATP.

Metabolisme merupakan rangkaian reaksi kimia yang diawali dengan substrat yang diakhiri dengan produk. Reaksi dalam sel tidak terjadi bolak-balik, melainkan berjalan ke satu arah. Tiap produk akan menjadi reaktan bagi reaksi selanjutnya. Reaksi ini berurutan sampai produk akhir, membentuk suatu jalur metabolisme.



Jalanan  $A \xrightarrow{1} B \xrightarrow{2} C \xrightarrow{3} D \xrightarrow{4} E$  merupakan rangkaian reaksi yang membentuk suatu jalur metabolisme. Dalam jalur ini, A adalah substrat (reaksi awal) dan E adalah produk akhir. Jalur metabolisme ini dipengaruhi oleh enzim yang mengkatalis tiap tahap reaksi kimia.

Sumber: Image.google.co.id

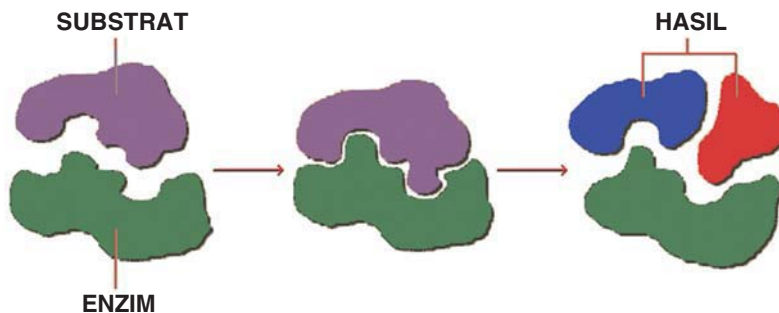


**Gambar 2.2**  
Mitokondria

## B Enzim

Enzim adalah senyawa organik atau katalis protein yang dihasilkan sel dalam suatu reaksi. Enzim bekerja sebagai katalis dalam tubuh makhluk hidup, oleh karena itu disebut *biokatalisator*. Kamu akan mengetahui fungsi enzim dalam proses metabolisme setelah mempelajari subbab ini.

Enzim bertindak sebagai katalis, artinya enzim dapat meningkatkan laju reaksi kimia tanpa ikut bereaksi atau dipengaruhi oleh reaksi kimia tersebut. Enzim ini memiliki sifat yang khas, artinya hanya mempengaruhi zat tertentu yang disebut *substrat*. Substrat adalah molekul yang bereaksi dalam suatu reaksi kimia dan molekul yang dihasilkan disebut *produk*. Misalnya, enzim protease, substratnya adalah protein dan bentuk reaksinya mengubah protein menjadi asam amino. Jadi, asam amino disebut produk. Untuk lebih memahami cara kerja enzim, mari cermati Gambar 2.3 di bawah ini.



Sumber: [Image.google.co.id](https://image.google.co.id)

**Gambar 2.3**  
Penyatuan enzim dengan substrat menghasilkan produk.

**Substrat + enzim → kompleks enzim dengan substrat → enzim + produk**

Enzim disintesis di dalam sel-sel hidup. Sebagian besar enzim bekerja di dalam sel sehingga disebut enzim *intraseluler*. Contoh enzim intraseluler adalah katalase yang memecah senyawa-senyawa berbahaya, seperti hidrogen peroksida pada sel-sel hati. Sedangkan, enzim yang dibuat di dalam sel dan melakukan fungsinya di luar sel disebut enzim *ekstraseluler*. Contoh enzim ekstraseluler adalah enzim-enzim pencernaan, seperti amilase yang memecah amilum menjadi maltosa.

Reaksi biokimia yang dikendalikan oleh enzim, antara lain respirasi, pertumbuhan, perkecambahan, kontraksi otot, fotosintesis, fiksasi nitrogen, proses pencernaan, dan lain-lain. Untuk lebih mengetahui tentang enzim, mari cermati uraian berikut ini.

### 1. Komponen Enzim

Penyusun utama suatu enzim adalah molekul protein yang disebut *Apoenzim*. Agar berfungsi sebagaimana mestinya, enzim memerlukan komponen lain yang disebut *kofaktor*. Kofaktor adalah komponen nonprotein berupa ion atau molekul.

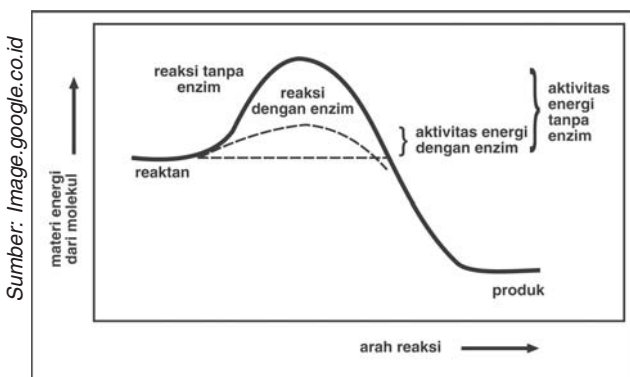
Berdasarkan ikatannya, kofaktor dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu gugus prostetik, ko-enzim, dan ion-ion anorganik.

- a) *Gugus prostetik* merupakan tipe kofaktor yang biasanya terikat kuat pada enzim, berperan memberi kekuatan tambahan terhadap kerja enzim. Contohnya adalah *heme*, yaitu molekul berbentuk cincin pipih yang mengandung besi. Heme merupakan gugus prostetik sejumlah enzim, antara lain katalase, peroksidase, dan sitokrom oksidase.
- b) *Ko-enzim* merupakan kofaktor yang terdiri atas molekul organik nonprotein yang terikat renggang dengan enzim. Ko-enzim berfungsi untuk memindahkan gugus kimia, atom, atau elektron dari satu enzim ke enzim yang lain. Contohnya, tiamin pirofosfat, NAD, NADP<sup>+</sup>, dan asam tetrahidrofolat.
- c) *Ion-ion anorganik* merupakan kofaktor yang terikat dengan enzim atau substrat kompleks sehingga fungsi enzim lebih efektif. Contohnya, amilase dalam ludah akan bekerja lebih baik dengan adanya ion klorida dan kalsium.

Beberapa kofaktor tidak berubah di akhir reaksi, tetapi kadang-kadang berubah dan terlibat dalam reaksi yang lain. Enzim yang terikat dengan kofaktornya disebut *haloenzim*.

## 2. Cara Kerja Enzim

Enzim mengkatalis reaksi dengan cara meningkatkan laju reaksi. Enzim meningkatkan laju reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi (energi yang diperlukan untuk reaksi) dari  $EA_1$  menjadi  $EA_2$ . (Lihat Gambar 2.4). Penurunan energi aktivasi dilakukan dengan membentuk kompleks dengan substrat. Setelah produk dihasilkan, kemudian enzim dilepaskan. Enzim bebas untuk membentuk kompleks baru dengan substrat yang lain.



**Gambar 2.4**  
Grafik kerja enzim

Enzim memiliki sisi aktif, yaitu bagian enzim yang berfungsi sebagai katalis. Pada sisi ini, terdapat gugus prostetik yang diduga berfungsi sebagai zat elektrofilik sehingga dapat mengkatalis reaksi yang diinginkan.

Bentuk sisi aktif sangat spesifik sehingga diperlukan enzim yang spesifik pula. Hanya molekul dengan bentuk tertentu yang dapat menjadi substrat bagi enzim. Agar dapat bereaksi, enzim dan substrat harus saling komplementer.



Cara kerja enzim dapat dijelaskan dengan dua teori, yaitu teori gembok dan anak kunci, dan teori kecocokan yang terinduksi.

**a. Teori gembok dan anak kunci (*Lock and key theory*)**

Enzim dan substrat bergabung bersama membentuk kompleks, seperti kunci yang masuk dalam gembok. Di dalam kompleks, substrat dapat bereaksi dengan energi aktivasi yang rendah. Setelah bereaksi, kompleks lepas dan melepaskan produk serta membebaskan enzim.

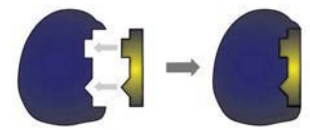
**b. Teori kecocokan yang terinduksi (*Induced fit theory*)**

Menurut teori kecocokan yang terinduksi, sisi aktif enzim merupakan bentuk yang fleksibel. Ketika substrat memasuki sisi aktif enzim, bentuk sisi aktif termodifikasi melingkupi substrat membentuk kompleks. Ketika produk sudah terlepas dari kompleks, enzim tidak aktif menjadi bentuk yang lepas. Sehingga, substrat yang lain kembali bereaksi dengan enzim tersebut.

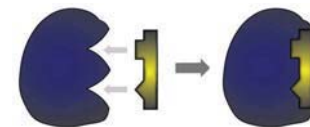
### 3. Sifat-Sifat Enzim

Sebagai biokatalisator, enzim memiliki beberapa sifat antara lain:

- Enzim hanya mengubah kecepatan reaksi, artinya enzim tidak mengubah produk akhir yang dibentuk atau mempengaruhi keseimbangan reaksi, hanya meningkatkan laju suatu reaksi.
- Enzim bekerja secara spesifik, artinya enzim hanya mempengaruhi substrat tertentu saja.
- Enzim merupakan protein. Oleh karena itu, enzim memiliki sifat seperti protein. Antara lain bekerja pada suhu optimum, umumnya pada suhu kamar. Enzim akan kehilangan aktivitasnya karena pH yang terlalu asam atau basa kuat, dan pelarut organik. Selain itu, panas yang terlalu tinggi akan membuat enzim terdenaturasi sehingga tidak dapat berfungsi sebagai mana mestinya.
- Enzim diperlukan dalam jumlah sedikit. Sesuai dengan fungsinya sebagai katalisator, enzim diperlukan dalam jumlah yang sedikit.
- Enzim bekerja secara bolak-balik. Reaksi-reaksi yang dikendalikan enzim dapat berbalik, artinya enzim tidak menentukan arah reaksi tetapi hanya mempercepat laju reaksi sehingga tercapai keseimbangan. Enzim dapat menguraikan suatu senyawa menjadi senyawa-senyawa lain. Atau



**Gambar 2.5**  
*Lock and key theory*



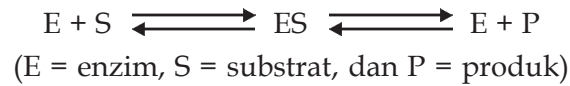
**Gambar 2.6**  
*Induced fit theory*

Sumber: Image.google.co.id

**Mari Berdiskusi**

Diskusikan dengan teman sebangkumu.  
Apa perbedaan antara Lock and key theory dengan Induced fit theory

sebaliknya, menyusun senyawa-senyawa menjadi senyawa tertentu. Reaksinya dapat digambarkan sebagai berikut.



- f. Enzim dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim adalah suhu, pH, aktivator (pengaktif), dan inhibitor (penghambat) serta konsentrasi substrat.

#### 4. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Aktivitas Enzim

Aktivitas enzim dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

##### a. Suhu

Tiap kenaikan suhu 10° C, kecepatan reaksi enzim menjadi dua kali lipat. Hal ini berlaku dalam batas suhu yang wajar. Kenaikan suhu berhubungan dengan meningkatnya energi kinetik pada molekul substrat dan enzim. Pada suhu yang lebih tinggi, kecepatan molekul substrat meningkat. Sehingga, pada saat bertubrukan dengan enzim, energi molekul substrat berkurang. Hal ini memudahkan molekul substrat terikat pada sisi aktif enzim. Peningkatan suhu yang ekstrim dapat menyebabkan atom-atom penyusun enzim bergetar sehingga ikatan hidrogen terputus dan enzim terdenaturasi. Denaturasi adalah rusaknya bentuk tiga dimensi enzim dan menyebabkan enzim terlepas dari substratnya. Hal ini, menyebabkan aktivitas enzim menurun, denaturasi bersifat *irreversible* (tidak dapat balik). Setiap enzim mempunyai suhu optimum, sebagian besar enzim manusia mempunyai suhu optimum 37° C. Sebagian besar enzim tumbuhan mempunyai suhu optimum 25° C.



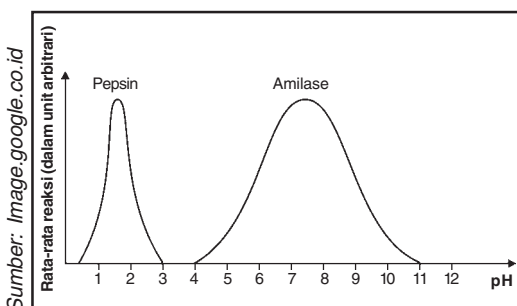
Diskusikan dengan teman sebangkumu.

Bagaimana dengan kerja enzim apabila suhu diturunkan sampai 0° C atau di bawahnya?

##### b. pH (derajat keasaman)

Enzim sangat peka terhadap perubahan derajat keasaman dan kebasan (pH) lingkungannya. Enzim dapat nonaktif bila berada dalam asam kuat atau basa kuat.

Pada umumnya, enzim intrasel bekerja efektif pada kisaran pH 7,0. Jika pH dinaikkan atau diturunkan di luar pH optimumnya, maka aktivitas enzim akan menurun dengan cepat. Tetapi, ada enzim yang memiliki pH optimum sangat asam, seperti pepsin, dan agak basa, seperti amilase. Pepsin memiliki pH optimum sekitar 2 (sangat asam). Sedangkan, amilase memiliki pH optimum sekitar 7,5 (agak basa).



Gambar 2.7

pH optimum beberapa jenis enzim

**c. Inhibitor**

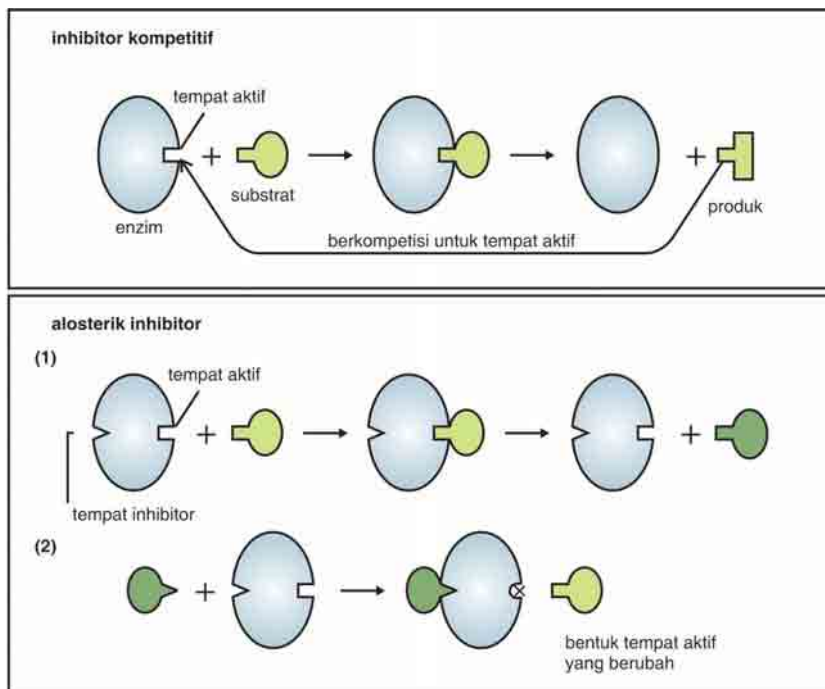
Kerja enzim dapat terhalang oleh zat lain. Zat yang dapat menghambat kerja enzim disebut *inhibitor*. Zat penghambat atau inhibitor dapat menghambat kerja enzim untuk sementara atau secara tetap. Inhibitor enzim dibagi menjadi dua, yaitu inhibitor kompetitif dan inhibitor nonkompetitif.

**1) Inhibitor kompetitif**

Inhibitor kompetitif adalah molekul penghambat yang bersaing dengan substrat untuk mendapatkan sisi aktif enzim. Contohnya, sianida bersaing dengan oksigen untuk mendapatkan hemoglobin dalam rantai respirasi terakhir. Penghambatan inhibitor kompetitif bersifat sementara dan dapat diatasi dengan cara menambah konsentrasi substrat.

**2) Inhibitor nonkompetitif**

Inhibitor nonkompetitif adalah molekul penghambat enzim yang bekerja dengan cara melekatkan diri pada luar sisi aktif enzim. Sehingga, bentuk enzim berubah dan sisi aktif enzim tidak dapat berfungsi. Hal ini menyebabkan substrat tidak dapat masuk ke sisi aktif enzim. Penghambatan inhibitor nonkompetitif bersifat tetap dan tidak dapat dipengaruhi oleh konsentrasi substrat.



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 2.8**  
Inhibitor kompetitif: Inhibitor dan substrat berkompetisi untuk masuk ke sisi aktif enzim

**Gambar 2.9**  
Inhibitor nonkompetitif: Inhibitor mengubah bentuk sisi aktif untuk mencegah masuknya substrat

Selain inhibitor, terdapat juga aktivator yang mempengaruhi kerja enzim. Aktivator merupakan molekul yang mempermudah enzim berikatan dengan substratnya. Contohnya, ion klorida yang berperan dalam aktivitas amilase dalam ludah.



C

## Katabolisme

Katabolisme adalah reaksi penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan enzim. Penguraian senyawa ini menghasilkan atau melepaskan energi berupa ATP yang biasa digunakan organisme untuk beraktivitas.

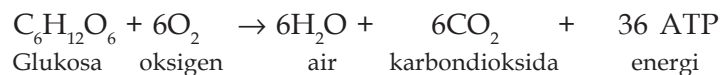
Katabolisme mempunyai dua fungsi, yaitu menyediakan bahan baku untuk sintesis molekul lain, dan menyediakan energi kimia yang dibutuhkan untuk melakukan aktivitas sel. Reaksi yang umum terjadi adalah reaksi oksidasi.

Energi yang dilepaskan oleh reaksi katabolisme disimpan dalam bentuk fosfat, terutama dalam bentuk ATP (Adenosin trifosfat) dan berenergi elektron tinggi  $\text{NADH}_2$  (*Nikotilamid adenin dinukleotida H<sub>2</sub>*) serta  $\text{FADH}_2$  (*Flavin adenin dinukleotida H<sub>2</sub>*).

Contoh katabolisme adalah respirasi. Berdasarkan kebutuhan akan oksigen, katabolisme dibagi menjadi dua, yaitu respirasi aerob dan anaerob. Respirasi aerob adalah respirasi yang membutuhkan oksigen untuk menghasilkan energi. Sedangkan, respirasi anaerob adalah respirasi yang tidak membutuhkan oksigen untuk menghasilkan energi. Mari cermati uraian di bawah ini.

### 1. Respirasi Aerob

Sebagian besar hewan dan tumbuhan melakukan respirasi aerob. Respirasi aerob adalah peristiwa pembakaran zat makanan menggunakan oksigen dari pernapasan untuk menghasilkan energi dalam bentuk ATP. Selanjutnya, ATP digunakan untuk memenuhi proses hidup yang selalu memerlukan energi. Respirasi aerob disebut juga pernapasan, dan terjadi di paru-paru. Sedangkan, pada tingkat sel respirasi terjadi pada organel mitokondria. Secara sederhana, reaksi respirasi adalah sebagai berikut:



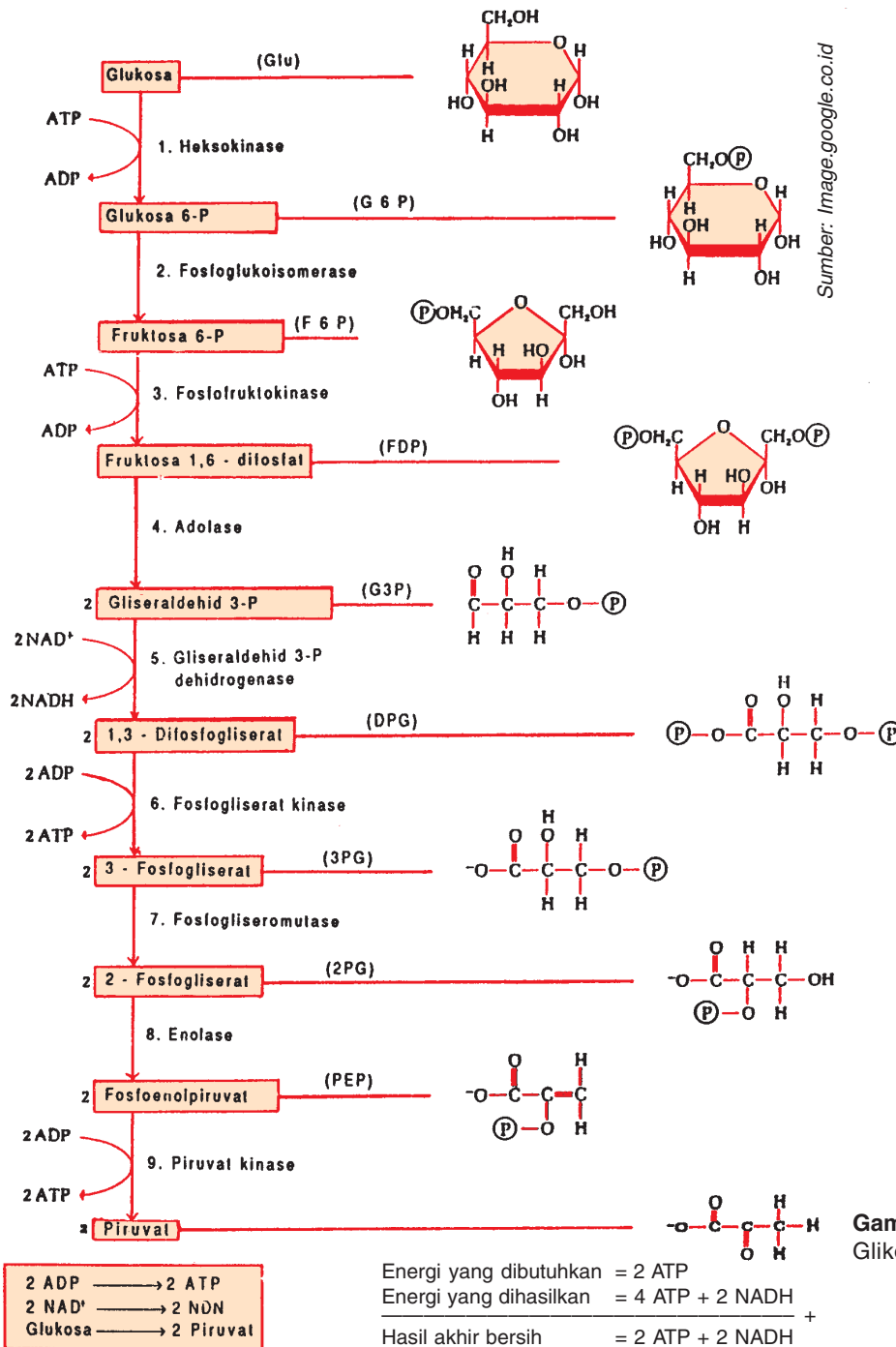
Pada respirasi ini, bahan makanan seperti senyawa karbohidrat, lemak atau protein dioksidasi sempurna menjadi karbondioksida dan air. Pada reaksi di atas, substrat yang dioksidasi sempurna adalah glukosa. Oksigen diperlukan sebagai akseptor elektron terakhir pada rantai transpor elektron di mitokondria.

Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dibebaskan keluar sel sebagai sampah. Pada manusia,  $\text{CO}_2$  dilarutkan dalam darah, kemudian dibuang melalui pernapasan dari paru-paru. Molekul air juga merupakan sampah dari respirasi dan dibuang lewat plasma darah ke paru-paru, kemudian dikeluarkan melalui hembusan napas.

Respirasi aerob dapat dibedakan menjadi tiga tahap, yaitu: glikolisis, siklus krebs, dan transpor elektron. Untuk memahami tahapan-tahapan tersebut, cermati uraian berikut ini.

**a. Glikolisis**

Glikolisis adalah peristiwa perubahan molekul glukosa (6 atom C) menjadi 2 molekul yang lebih sederhana, yaitu asam piruvat (3 atom C). Glikolisis terjadi dalam sitoplasma sel. Prosesnya terdiri atas sepuluh langkah, seperti pada Gambar 2.10 berikut.



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 2.10**  
Glikolisis

Sumber: Encarta Library 2005



**Gambar 2.12**  
Hans Krebs

Peristiwa glikolisis menunjukkan perubahan dari glukosa, kemudian makin berkurang kekomplekan molekulnya dan berakhir sebagai molekul asam piruvat. Produk penting glikolisis adalah:

- 1) 2 molekul asam piruvat
- 2) 2 molekul NADH sebagai sumber elektron berenergi tinggi
- 3) 2 molekul ATP dari 1 molekul glukosa

Sebenarnya, dari 1 molekul glukosa dihasilkan 4 molekul ATP, tetapi 2 molekul digunakan untuk beberapa reaksi kimia. Dari kesepuluh langkah pemecahan glukosa, dua di antaranya bersifat endergonik, dan menggunakan 2 molekul ATP.

**b. Siklus krebs**

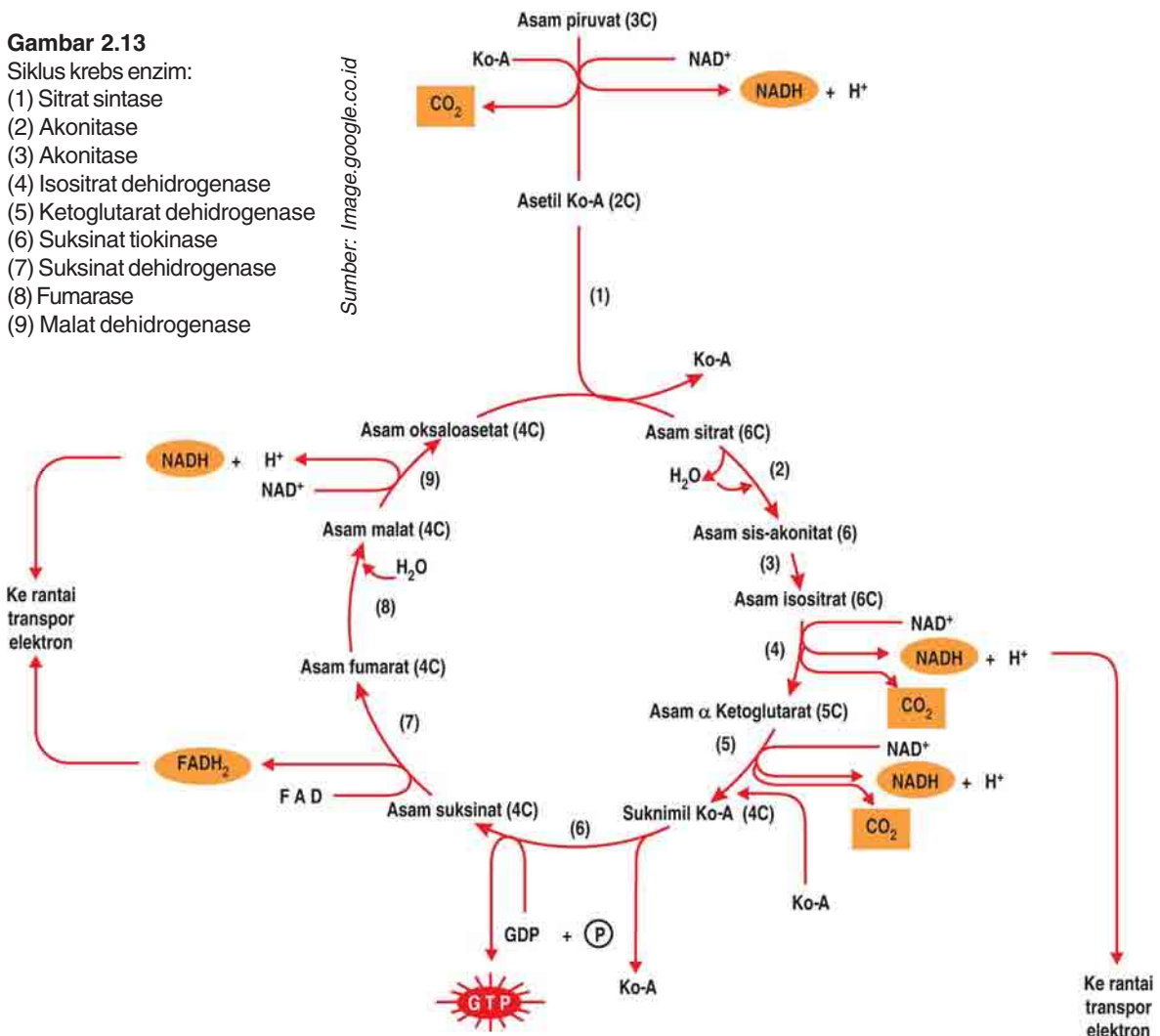
Siklus krebs merupakan tahap kedua respirasi aerob. Nama siklus ini berasal dari nama orang yang menemukan reaksi tahap kedua respirasi aerob ini, yaitu **Hans Krebs**. Siklus ini disebut juga siklus asam sitrat.

**Gambar 2.13**

Siklus krebs enzim:

- (1) Sitrat sintase
- (2) Akonitase
- (3) Akonitase
- (4) Isositrat dehidrogenase
- (5) Ketoglutarat dehidrogenase
- (6) Suksinat tiokinase
- (7) Suksinat dehidrogenase
- (8) Fumarase
- (9) Malat dehidrogenase

Sumber: Image.google.co.id





Siklus krebs diawali dengan adanya 2 molekul asam piruvat yang dibentuk pada glikolisis yang meninggalkan sitoplasma masuk ke mitokondria. Sehingga, siklus krebs terjadi di dalam mitokondria.

Tahapan siklus krebs adalah sebagai berikut:

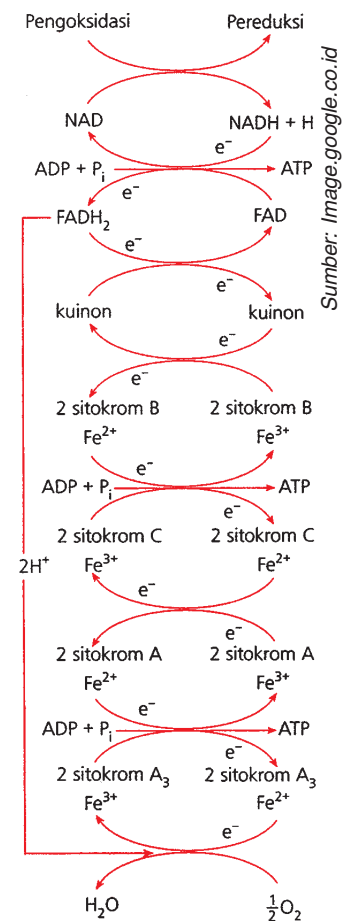
- Asam piruvat dari proses glikolisis, selanjutnya masuk ke siklus krebs setelah bereaksi dengan  $\text{NAD}^+$  (Nikotinamida adenine dinukleotida) dan ko-enzim A atau Ko-A, membentuk asetil Ko-A. Dalam peristiwa ini,  $\text{CO}_2$  dan  $\text{NADH}$  dibebaskan. Perubahan kandungan C dari 3C (asam piruvat) menjadi 2C (asetil ko-A).
- Reaksi antara asetil Ko-A (2C) dengan asam oksaloasetat (4C) dan terbentuk asam sitrat (6C). Dalam peristiwa ini, Ko-A dibebaskan kembali.
- Asam sitrat (6C) dengan  $\text{NAD}^+$  membentuk asam alfa ketoglutarat (5C) dengan membebaskan  $\text{CO}_2$ .
- Peristiwa berikut agak kompleks, yaitu pembentukan asam suksinat (4C) setelah bereaksi dengan  $\text{NAD}^+$  dengan membebaskan  $\text{NADH}$ ,  $\text{CO}_2$  dan menghasilkan ATP setelah bereaksi dengan ADP dan asam fosfat anorganik.
- Asam suksinat yang terbentuk, kemudian bereaksi dengan FAD (*Flarine Adenine Dinucleotida*) dan membentuk asam malat (4C) dengan membebaskan  $\text{FADH}_2$ .
- Asam malat (4C) kemudian bereaksi dengan  $\text{NAD}^+$  dan membentuk asam oksaloasetat (4C) dengan membebaskan  $\text{NADH}$ , karena asam oksaloasetat akan kembali dengan asetil ko-A seperti langkah ke 2 di atas.

Dapat disimpulkan bahwa siklus krebs merupakan tahap kedua dalam respirasi aerob yang mempunyai tiga fungsi, yaitu menghasilkan  $\text{NADH}$ ,  $\text{FADH}_2$ , ATP serta membentuk kembali oksaloasetat. Oksaloasetat ini berfungsi untuk siklus krebs selanjutnya. Dalam siklus krebs, dihasilkan 6  $\text{NADH}$ , 2  $\text{FADH}_2$ , dan 2 ATP.

### c. Transpor elektron

Transpor elektron terjadi di membran dalam mitokondria, dan berakhir setelah elektron dan  $\text{H}^+$  bereaksi dengan oksigen yang berfungsi sebagai akseptor terakhir, membentuk  $\text{H}_2\text{O}$ . ATP yang dihasilkan pada tahap ini adalah 32 ATP.

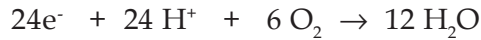
Reaksinya kompleks, tetapi yang berperan penting adalah  $\text{NADH}$ , FAD, dan molekul-molekul khusus, seperti Flavo protein, ko-enzim Q, serta beberapa sitokrom. Dikenal ada beberapa sitokrom, yaitu sitokrom  $\text{C}_1$ , C, A, B, dan  $\text{A}_3$ . Elektron berenergi pertama-tama berasal dari  $\text{NADH}$ , kemudian



**Gambar 2.14**  
Sistem transpor elektron

ditransfer ke FMN (*Flavine Mono Nukleotida*), selanjutnya ke Q, sitokrom C<sub>1</sub>, C, A, B, dan A<sub>3</sub>, lalu berikatan dengan H yang diambil dari lingkungan sekitarnya. Sampai terjadi reaksi terakhir yang membentuk H<sub>2</sub>O.

Secara sederhana, reaksi transpor elektron dituliskan:



Jadi, hasil akhir proses ini terbentuknya 32 ATP dan H<sub>2</sub>O sebagai hasil sampingan respirasi. Produk sampingan respirasi tersebut pada akhirnya dibuang ke luar tubuh, pada tumbuhan melalui stomata dan melalui paru-paru pada pernapasan hewan tingkat tinggi.

Ketiga proses respirasi dapat diringkas sebagai berikut.

Proses	Akseptor	ATP
1) <i>Glikolisis:</i> glukosa → 2 asam piruvat	2 NADH	2 ATP
2) <i>Siklus Krebs:</i> 2 asam piruvat → 2 asetil-KoA + 2 CO <sub>2</sub> 2 asetil KoA → 4 CO <sub>2</sub>	2 NADH 6 NADH 2 FADH <sub>2</sub>	2 ATP
3) <i>Rantai Transpor Elektron Respiratori:</i> 10 NADH + 5 O <sub>2</sub> → 10 NADH <sup>+</sup> + 10 H <sub>2</sub> O 2 FADH <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> → 2 FAD + 2 H <sub>2</sub> O		30 ATP 4 ATP
		Total : 34 ATP
	e <sup>-</sup> untuk masuk mitokondria perlu :	2 ATP
		Hasil akhir : 32 ATP

## 2. Respirasi Anaerob

Respirasi anaerob merupakan respirasi yang tidak menggunakan oksigen sebagai penerima akhir pada saat pembentukan ATP. Respirasi anaerob juga menggunakan glukosa sebagai substrat. Respirasi anaerob sering disebut juga *fermentasi*.

Organisme yang melakukan fermentasi di antaranya adalah bakteri dan protista yang hidup di rawa, lumpur, makanan yang diawetkan, atau tempat-tempat lain yang tidak mengandung oksigen.

Beberapa organisme dapat berespirasi menggunakan oksigen, tetapi dapat juga melakukan fermentasi. Organisme seperti ini melakukan fermentasi jika lingkungannya miskin oksigen. Sebagai contoh, sel-sel otot dapat melakukan respirasi anaerob jika kekurangan oksigen.

Pada fermentasi, glukosa dipecah menjadi 2 molekul asam piruvat, 2 NADH, dan terbentuk 2 ATP. Tetapi, fermentasi tidak bereaksi secara sempurna memecah glukosa menjadi karbon dioksida dan air, serta ATP yang dihasilkan pun tidak sebesar ATP yang dihasilkan dari glikolisis.

Dari hasil akhirnya, fermentasi dibedakan menjadi fermentasi asam laktat dan fermentasi alkohol.

#### a. Fermentasi asam laktat

Fermentasi asam laktat merupakan respirasi anaerob, hasil akhir fermentasi ini ialah *asam laktat* yang disebut juga *asam susu*. Sebagian masyarakat menyebut asam laktat sebagai *asam kelelahan*, karena erat kaitannya dengan rasa lelah. Hal ini terjadi pada manusia, karena bergerak melebihi batas sehingga terjadi penimbunan asam laktat yang merupakan hasil akhir fermentasi pada otot tubuh.

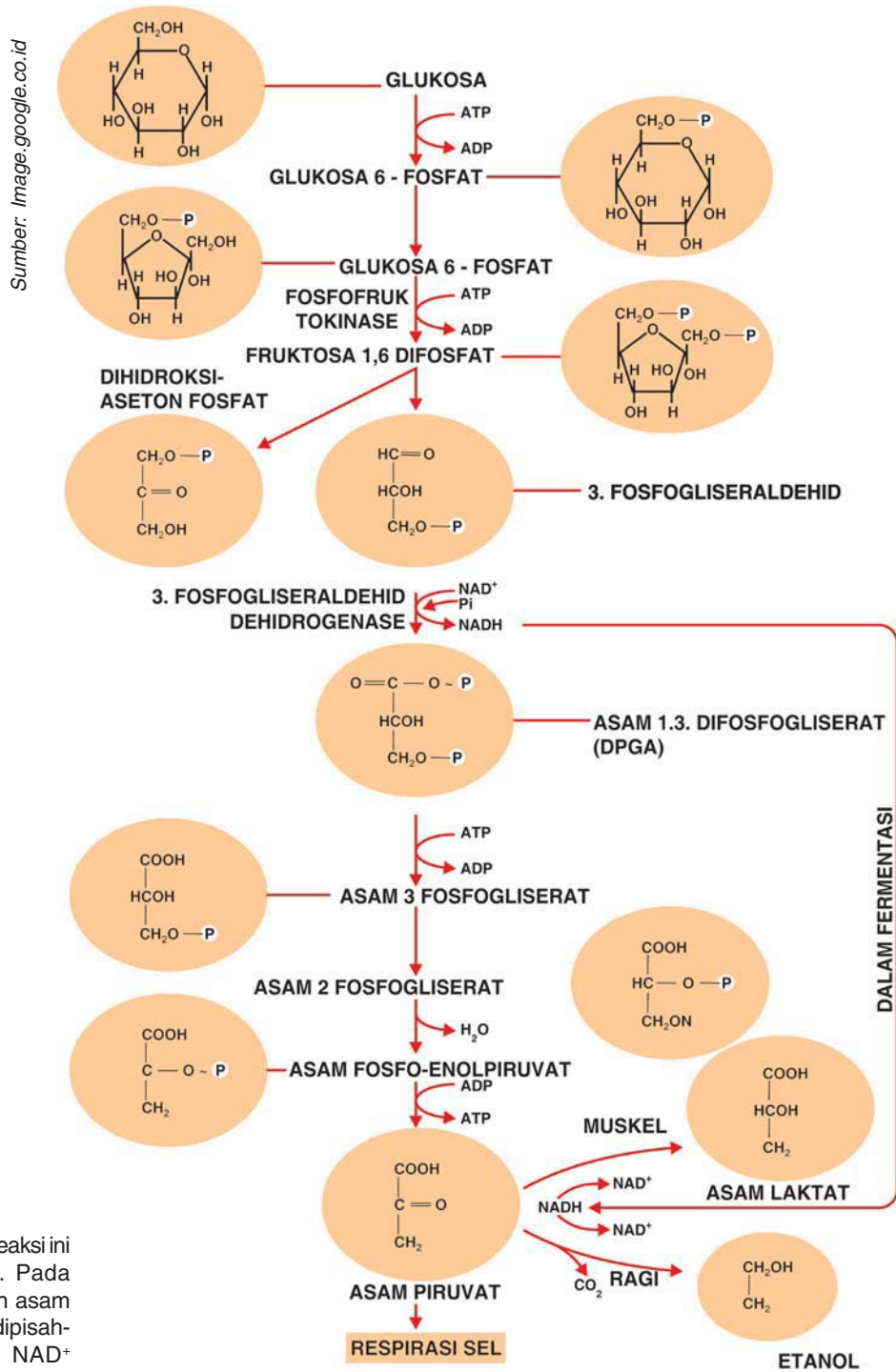
Proses fermentasi juga dimulai dengan glikolisis yang menghasilkan asam piruvat. Karena pada proses ini tidak ada oksigen yang merupakan reseptor terakhir, maka asam piruvat diubah menjadi asam laktat. Kejadian ini berakibat pada elektron yang tidak meneruskan perjalanannya, tidak lagi menerima elektron dari NADH dan FAD. Karena tidak terjadi penyaluran elektron, berarti pula  $\text{NAD}^+$  dan FAD yang diperlukan dalam siklus krebs juga tidak terbentuk. Akibatnya, reaksi siklus krebs pun terhenti. Asam laktat merupakan zat kimia yang merugikan karena bersifat racun atau toksis.

#### b. Fermentasi alkohol

Pada beberapa mikroorganisme, peristiwa pembebasan energi terjadi karena asam piruvat diubah menjadi asam asetat dan  $\text{CO}_2$ . Selanjutnya, asam asetat diubah menjadi alkohol. Pada peristiwa ini, NADH diubah menjadi  $\text{NAD}^+$ . Dengan terbentuknya  $\text{NAD}^+$ , glikolisis dapat terjadi. Dengan demikian, asam piruvat selalu tersedia, kemudian diubah menjadi energi.

Pada fermentasi ini, energi (ATP) yang dihasilkan dari 1 molekul glukosa hanya 2 molekul ATP, berbeda dengan proses respirasi aerob yang mengubah 1 molekul glukosa menjadi 34 ATP.





**Gambar 2.15**  
 Jalur glikolisis: Semua reaksi ini terjadi dalam sitosol. Pada fermentasi alkohol dan asam laktat, elektron yang dipisahkan dari PGAL oleh  $NAD^+$  digunakan untuk mereduksi asam piruvat. Tetapi pada respirasi sel, elektron-elektron dimasukkan ke dalam mitokondria.

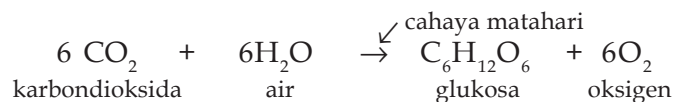
## D Anabolisme

Anabolisme adalah reaksi pembentukan molekul sederhana menjadi molekul yang kompleks. Reaksi anabolisme merupakan peristiwa sintesis atau penyusunan sehingga memerlukan energi, dan dibentuk reaksi endergonik. Contoh reaksi anabolisme di antaranya adalah fotosintesis atau sintesis karbohidrat dengan bantuan energi cahaya matahari, kemosintesis dengan bantuan energi kimia.

### 1. Fotosintesis

Fotosintesis merupakan sintesis yang memerlukan cahaya (fotos = cahaya; sintesis = penyusunan atau membuat bahan kimia). Fotosintesis adalah peristiwa pembentukan karbohidrat dari karbondioksida dan air dengan bantuan energi cahaya matahari.

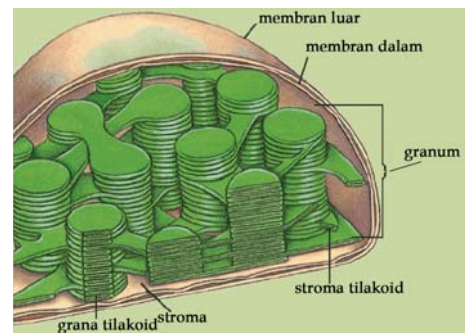
Secara sederhana, reaksi fotosintesis yang melibatkan berbagai enzim dapat dituliskan sebagai berikut:



Fotosintesis terjadi di dalam kloroplas. Kloroplas merupakan organel plastida yang mengandung pigmen hijau daun (klorofil). Sel yang mengandung kloroplas terdapat pada mesofil daun tanaman yang disebut *palisade* atau jaringan tiang dan sel-sel jaringan bunga karang yang disebut *spons*.

Kloroplas tersusun atas bagian-bagian sebagai berikut:

- Stroma ialah struktur kosong di dalam kloroplas, merupakan tempat glukosa terbentuk dari karbondioksida.
- Tilakoid ialah struktur cakram bertumpuk-tumpuk, yang terbentuk dari pelipatan membran dalam kloroplas, dan berfungsi menangkap energi cahaya dan mengubahnya menjadi energi kimia.
- Grana ialah selubung tangkai penghubung tilakoid.



Gambar 2.15  
Kloroplas

Klorofil merupakan pigmen utama yang terdapat pada tumbuhan yang berfungsi menyerap cahaya radiasi elektromagnetik pada spektrum kasat mata. Klorofil dapat dibedakan menjadi klorofil a dan klorofil b. Klorofil a mampu menyerap cahaya merah dan biru keunguan. Klorofil a sangat berperan dalam reaksi gelap fotosintesis. Sedangkan, klorofil b merupakan klorofil yang mampu menyerap cahaya biru dan

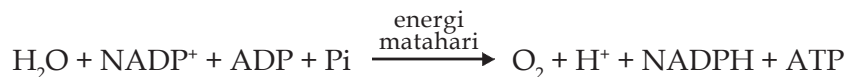
merah kejinggaan. Di dalam kloroplas, selain klorofil juga terdapat pigmen karotenoid, antosianin, dan fikobilin.

Jadi, hanya tumbuhan yang dapat melakukan fotosintesis karena mengandung kloroplas pada daunnya. Oleh karena itu, tumbuhan merupakan produsen makanan (karena dapat menghasilkan makanan dengan bantuan cahaya matahari), dan disebut juga organisme autotrof (*auto* = sendiri; *trophic* = makanan), yaitu organisme yang dapat membuat makanan sendiri.

Proses reaksi fotosintesis dalam tumbuhan tinggi dibagi menjadi dua tahap, yaitu *reaksi terang* dan *reaksi gelap*. Untuk mengetahui bagaimana proses kedua reaksi tersebut, mari cermati uraian berikut ini.

### a. Reaksi terang

Pada tahap pertama, energi matahari ditangkap oleh pigmen penyerap cahaya dan diubah menjadi bentuk energi kimia, ATP, dan senyawa pereduksi NADPH. Proses ini disebut tahap reaksi terang. Atom hidrogen dari molekul H<sub>2</sub>O dipakai untuk mereduksi NADP<sup>+</sup> menjadi NADPH, dan O<sub>2</sub> dilepaskan sebagai hasil samping reaksi fotosintesis. Reaksi ini juga dirangkaikan dengan reaksi endergonik, membentuk ATP dari ADP + Pi. Dengan demikian, reaksi terang dapat dituliskan dengan persamaan:



Pembentukan ATP dari ADP + Pi, merupakan suatu mekanisme penyimpanan energi matahari yang diserap kemudian diubah menjadi bentuk energi kimia. Proses ini disebut *fosforilasi fotosintesis* atau *fotofosforilasi*.

Pada reaksi terang yang terjadi di grana, energi cahaya memacu pelepasan elektron dari fotosistem di dalam membran tilakoid. Fotosistem adalah tempat berkumpulnya beratus-ratus molekul pigmen fotosintesis. Aliran elektron melalui sistem transpor menghasilkan ATP dan NADPH.

ATP dan NADPH dapat terbentuk melalui jalur non siklik, yaitu elektron mengalir dari molekul air, kemudian melalui fotosistem II dan fotosistem I. Elektron dan ion hidrogen akan membentuk NADPH dan ATP. Oksigen yang dibebaskan berguna untuk respirasi aerob.

Pusat reaksi pada fotosistem I mengandung klorofil a, disebut sebagai P700, karena dapat menyerap foton terbaik pada panjang gelombang 700 nm. Pusat reaksi pada fotosistem II mengandung klorofil a yang disebut sebagai P680, karena dapat menyerap foton terbaik pada panjang gelombang 680 nm.



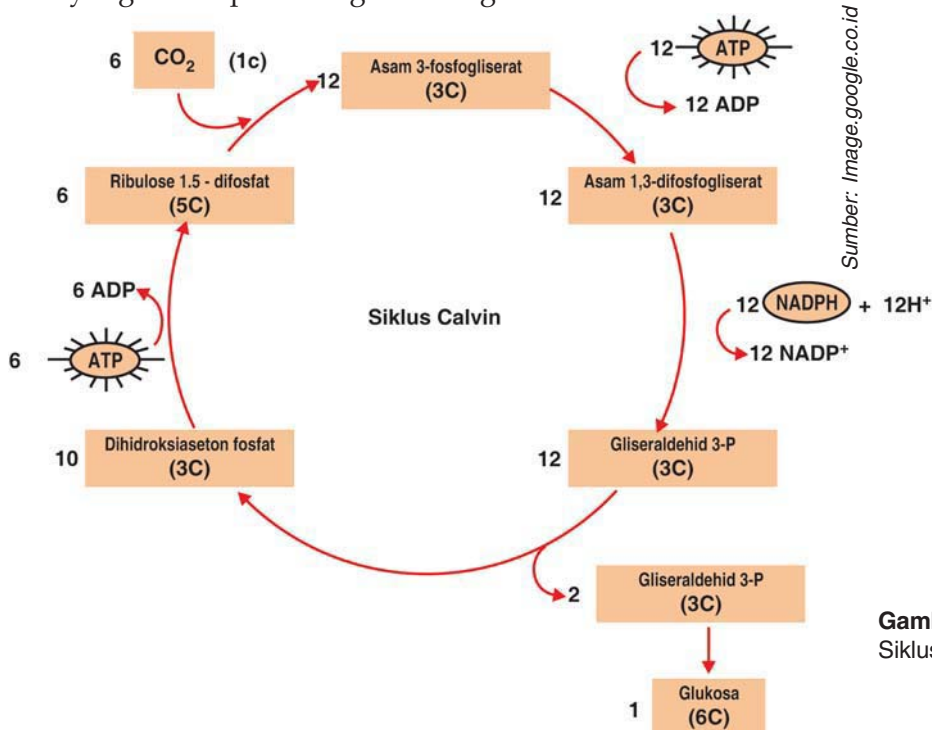
### b. Reaksi gelap (reaksi tidak tergantung cahaya)

Disebut juga siklus Calvin-Benson. Reaksi ini disebut reaksi gelap, karena tidak tergantung secara langsung dengan cahaya matahari. Reaksi gelap terjadi di *stroma*. Namun demikian, reaksi ini tidak mutlak terjadi hanya pada kondisi gelap.

Reaksi gelap memerlukan ATP, hidrogen, dan elektron dari NADPH, karbon dan oksigen dari karbondioksida, enzim yang mengkatalisis setiap reaksi, dan RuBp (Ribulosa bifosfat) yang merupakan suatu senyawa yang mempunyai 5 atom karbon.

Reaksi gelap terjadi melalui beberapa tahapan, yaitu:

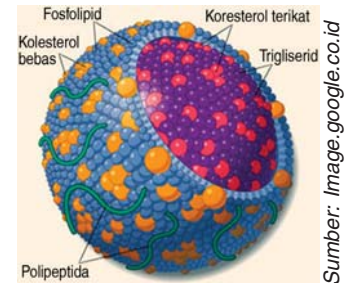
- Karbondioksida diikat oleh RuBp (Ribulosa bifosfat yang terdiri atas 5 karbon) menjadi senyawa 6 karbon yang labil. Senyawa 6 karbon ini kemudian memecah menjadi 2 fosfogliserat (PGA).
- Masing-masing PGA menerima gugus pfosfat dari ATP dan menerima hidrogen serta e<sup>-</sup> dari NADPH. Reaksi ini menghasilkan PGAL (fosfogliseraldehida).
- Tiap 6 molekul karbon dioksida yang diikat dihasilkan 12 PGAL.
- Dari 12 PGAL, 10 molekul kembali ke tahap awal menjadi RuBp, dan seterusnya RuBp akan mengikat CO<sub>2</sub> yang baru.
- Dua PGAL lainnya akan berkondensasi menjadi glukosa 6 fosfat. Molekul ini merupakan prekursor (bahan baku) untuk produk akhir menjadi molekul sukrosa yang merupakan karbohidrat untuk diangkut ke tempat penimbunan tepung pati yang merupakan karbohidrat yang tersimpan sebagai cadangan makanan.



Gambar 2.17  
Siklus Calvin



Asetil Ko-A juga dapat diubah kembali menjadi asam lemak sehingga reaksi beta oksidasi disebut pula sebagai *reaksi reversible* (yang dapat di balik). Asam piruvat sebagai hasil akhir metabolisme gliserol, dan asetil Ko-A bersama-sama akhirnya memasuki siklus *asam trikarboksilat* yang merupakan langkah terakhir dari metabolisme dalam tubuh. Oksigen yang diperlukan tubuh memerlukan oksigen lebih banyak dalam proses oksidasi lemak untuk menghasilkan energi dibandingkan dengan proses oksidasi karbohidrat. Hal ini dimungkinkan karena perbandingan C : H : O molekul lemak jauh lebih besar dibandingkan dengan molekul karbohidrat. Misalnya, perbandingan C : H : O pada molekul tristearin adalah 57 : 110 : 6, sedangkan molekul glukosa juga memiliki enam atom oksigen, tetapi perbandingan C : H : O pada glukosa jauh lebih rendah, yaitu 6 : 12 : 6. Perbedaan ini mengakibatkan nilai pembakaran yang jauh berbeda. Satu gram lemak menghasilkan 9,3 kalori, sedangkan 1 gram karbohidrat hanya menghasilkan 4,1 kalori saja.



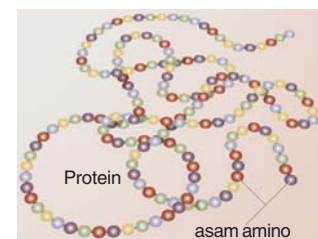
Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 2.18**  
Molekul lemak

#### 4. Sintesis Protein

Sintesis protein di dalam sel tersusun atas asam amino dan terjadi dengan melibatkan DNA, RNA dan ribosom.

Suatu ikatan molekul peptida terbentuk apabila gugus amino dari satu asam amino berikatan dengan gugus karboksil dari asam amino lain. Secara berurutan, apabila dua asam amino bergabung, maka akan terbentuk molekul dipeptida, bila tiga asam amino berikatan, maka akan terbentuk molekul tripeptida, dan seterusnya. Dengan demikian, apabila terjadi penggabungan asam amino dalam jumlah besar, maka akan terbentuk molekul yang disebut sebagai polipeptida. Pada dasarnya, protein adalah suatu polipeptida.



Sumber: Encarta Library 2005

**Gambar 2.19**  
Molekul protein

Setiap sel dari organisme berkemampuan untuk mensintesis protein-protein tertentu yang sesuai dengan keperluannya. Sintesis protein dalam sel dapat terjadi, karena pada inti sel terdapat suatu zat (substansi) yang berperan penting sebagai pengatur sintesis protein sel. Substansi-substansi tersebut adalah DNA dan RNA. Untuk lebih jelas, pelajari Bab 3 Materi Genetik, tentang Sintesis Protein.





Kamu telah mempelajari metabolisme sel. Hal-hal penting apa sajakah yang harus diketahui dalam mempelajarinya? Catatlah dalam bentuk rangkuman. Kemudian, tukarlah hasil rangkumanmu dengan rangkuman teman. Berikan masukan dan saran pada rangkuman masing-masing.

## Daftar Istilah

<b>Anabolisme</b>	= reaksi pembentukan senyawa kompleks dari senyawa sederhana.
<b>Apoenzim</b>	= bagian dari enzim yang terdiri atas protein, yang harus menyatu dengan kofaktor agar berfungsi secara aktif.
<b>Autotrof</b>	= organisme yang dapat memenuhi bahan organik yang dibutuhkan dengan cara mensintesisnya dari bahan anorganik.
<b>Biokatalisator</b>	= enzim atau katalisator yang berperan dalam reaksi-reaksi kimia dalam sel tubuh makhluk hidup.
<b>Fermentasi</b>	= pemecahan senyawa organik oleh mikroba yang berlangsung dalam keadaan anaerob.
<b>Fotosintesis</b>	= Peristiwa penyusunan zat organik (karbohidrat) dari zat anorganik yang dilakukan oleh klorofil dengan bantuan cahaya matahari.
<b>Glikolisis</b>	= pengubahan satu molekul gula 6C menjadi 2 molekul asam piruvat (3C), 2 molekul NADH dan 2 molekul ATP.
<b>Inhibitor</b>	= zat atau senyawa yang menghalangi kerja enzim.
<b>Katabolisme</b>	= Reaksi penguraian yang berlangsung di dalam tubuh organisme, dari molekul kompleks menjadi molekul sederhana.
<b>Koenzim</b>	= Bagian bukan protein pada enzim, berupa senyawa organik (misalnya vitamin) berfungsi mempercepat kerja enzim sebagai biokatalisator.
<b>Prostetik</b>	= gugusan bukan protein pada enzim, merupakan gugusan yang aktif.
<b>Substrat</b>	= bahan tempat enzim melakukan kegiatan.

# M a r i B e r k o m p e t e n s i

## A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat di setiap soal-soal berikut.

- Enzim merupakan katalis. Katalis yang bekerja dalam tubuh makhluk hidup disebut juga ....
  - fotosintesis
  - endergonik
  - metabolisme
  - biokatalisator
  - eksoterm
- Penyusun utama enzim dalam bentuk molekul protein, disebut ....
  - kofaktor
  - apoenzim
  - haloenzim
  - ko-enzim
  - gugus prostetik
- Enzim mengkatalis reaksi dengan cara meningkatkan laju reaksi. Peningkatan laju reaksi dilakukan enzim melalui ....
  - peningkatan energi aktivasi
  - energi aktivasi meningkatkan kerja enzim
  - penurunan energi aktivasi
  - energi aktivasi tidak mempengaruhi kerja enzim
  - kerja enzim tidak ada hubungannya dengan energi aktivasi
- Di bawah ini yang bukan sifat-sifat enzim sebagai biokatalisator, yaitu ....
  - enzim mengubah kecepatan reaksi
  - enzim bekerja secara spesifik atau khusus
  - enzim mengubah produk akhir yang dibentuk
  - enzim bekerja secara bolak-balik
  - enzim adalah protein
- Faktor yang mempengaruhi aktivitas enzim, yaitu ....
  - panas dan kelembapan
  - suhu dan kelembapan
  - suhu dan PH
  - pH dan energi
  - jumlah substrat dan kelembapan
- Reaksi penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana disebut ....
  - katabolisme
  - metabolisme
  - anabolisme
  - reaksi oksidasi
  - reaksi reduksi
- Gas dalam bentuk apakah yang dibebaskan sebagai sampah dalam proses respirasi?
 

a. $H_2O$	d. $H_2S$
b. $O_2$	e. $C_6H_{12}O_6$
c. $CO_2$	
- Asam piruvat merupakan produk dari metabolisme ....
  - Glikolisis
  - Siklus krebs
  - Fotosintesis
  - Kemosintesis
  - Transpor  $e^-$
- Berapakah molekul ATP yang dihasilkan pada proses glikolisis?
  - 1 molekul ATP
  - 2 molekul ATP
  - 3 molekul ATP
  - 4 molekul ATP
  - 5 molekul ATP

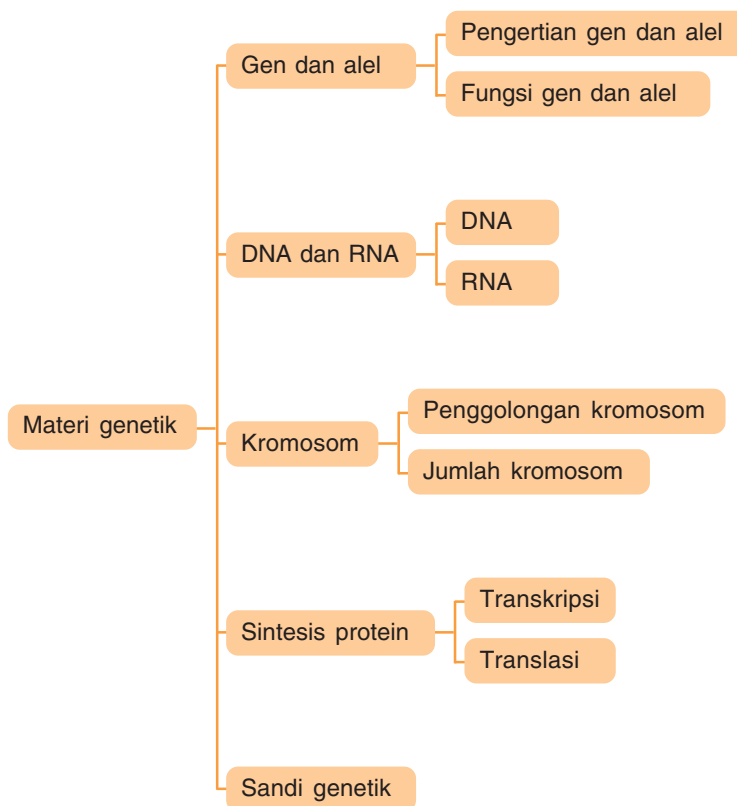
10. Nama lain dari siklus krebs yang merupakan tahap kedua respirasi aerob, ialah ....
  - a. glikolisis
  - b. reaksi terang
  - c. reaksi gelap
  - d. siklus asam sitrat
  - e. reaksi gelap
11. Reaksi glikolisis terjadi di dalam ....
  - a. mitokondria
  - b. membran sel
  - c. membran dalam mitokondria
  - d. sitoplasma
  - e. kloroplas
12. Reaksi siklus krebs terjadi di ....
  - a. mitokondria
  - b. membran sel
  - c. membran dalam mitokondria
  - d. sitoplasma
  - e. kloroplas
13. Rantai transpor elektron terjadi di dalam ....
  - a. mitokondria
  - b. membran sel
  - c. membran dalam mitokondria
  - d. sitoplasma
  - e. kloroplas
14. Urutan 3 tahap respirasi sel yang benar adalah ....
  - a. glikolisis - siklus krebs - transpor  $e^-$
  - b. glikolisis - transpor  $e^-$  - siklus krebs
  - c. transpor  $e^-$  - siklus krebs - glikolisis
  - d. transpor  $e^-$  - glikolisis - siklus krebs
  - e. siklus krebs - glikolisis - transpor  $e^-$
15. Komponen utama yang dibutuhkan pada peristiwa fotosintesis ialah ....
  - a.  $H_2O$ , ATP, klorofil, cahaya matahari
  - b.  $CO_2$ ,  $O_2$ , klorofil, cahaya matahari
  - c.  $H_2O$ ,  $O_2$ , cahaya matahari, klorofil
  - d. klorofil,  $CO_2$ ,  $H_2O$ , cahaya matahari
  - e.  $CO_2$ , klorofil, cahaya matahari,  $H_2O$

**B. Jawablah soal-soal berikut dengan singkat dan jelas!**

1. Apakah yang dimaksud dengan enzim?
2. Tuliskanlah satu jenis enzim beserta substrat dan produk akhirnya.
3. Tuliskan reaksi biokimia yang dikendalikan oleh enzim.
4. Kofaktor merupakan komponen nonprotein enzim, sebutkan 3 kelompok yang termasuk di dalamnya.
5. Tuliskan dan jelaskan sifat-sifat enzim sebagai biokatalisator.



Peta Konsep



Coba kamu perhatikan dirimu dan kedua orang tuamu, mirip siapakah kamu? Mengapa kamu mirip dengan kedua orang tuamu? Hal ini disebabkan karena gen-gen yang dimiliki oleh orang tuamu diturunkan atau diwariskan kepadamu.

Setiap sel organisme mengandung materi genetik. Materi genetik tersebut dikenal sebagai gen yang terdapat dalam kromosom di dalam nukleus. Setelah mempelajari bab ini, kamu akan mengetahui tentang gen, DNA, dan kromosom, mari ikuti uraian berikut ini.

## A Gen dan Alel

### 1. Pengertian Gen dan Alel

Gen merupakan unit terkecil materi genetik. Gen terdapat dalam setiap lokus yang khas pada kromosom. Gen adalah substansi genetik terkecil yang terdiri atas sepinggal DNA yang menentukan sifat individu melalui pembentukan polipeptida. Jadi, gen berperan penting dalam mengontrol sifat-sifat individu yang diturunkan.

Gen-gen yang ada dalam kromosom tidak memiliki batas-batas yang jelas. Walaupun demikian, gen-gen dapat diumpamakan dalam satu deretan berurutan dan teratur pada benang kromosom.

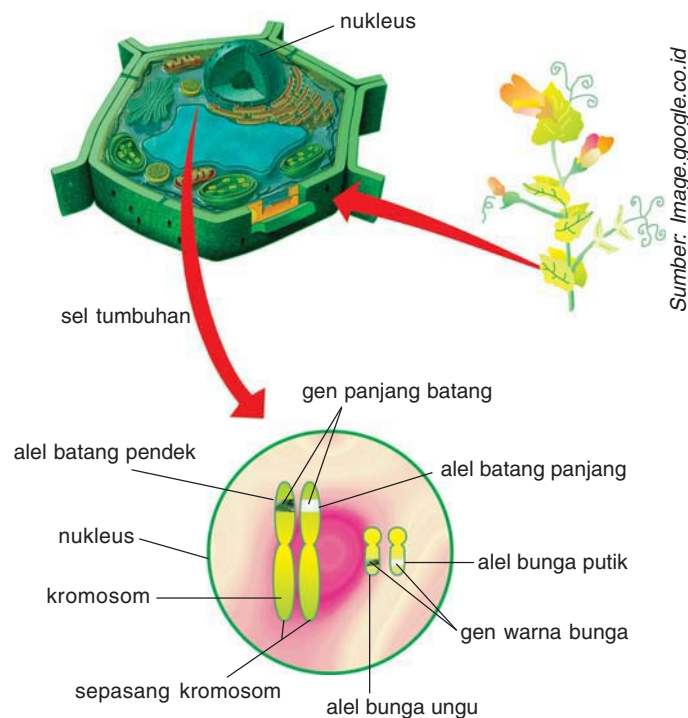
Di dalam sel tubuh, kromosom biasanya berpasangan. Sepasang kromosom merupakan homolog sesamanya, artinya keduanya mempunyai bentuk yang sama dan lokus gen-gen yang bersesuaian. Gen-gen yang terdapat pada lokus yang bersesuaian ini disebut *alel*.

### 2. Fungsi Gen dan Alel

Gen merupakan suatu kesatuan kimia. Sebagai materi hereditas, gen memiliki beberapa fungsi, antara lain:

- Sebagai zarah tersendiri yang ada pada kromosom. Zarah adalah zat terkecil dan tidak dapat dibagi-bagi lagi.
- Menyampaikan informasi genetik dari induk kepada keturunannya.
- Mengatur proses metabolisme dan perkembangan.

Alel dapat memiliki tugas yang sama atau berlawanan untuk suatu pekerjaan tertentu. Alel yang mempunyai tugas yang sama disebut *alel homozigot*. Sedangkan, alel yang tugasnya berbeda disebut *alel heterozigot*. Alel yang tugasnya sama, misalnya gen penentu warna hitam pada gandum yang mempunyai pasangan gen penentu warna hitam pula. Contoh alel yang tugasnya berlawanan adalah gen penentu warna hitam pada gandum mempunyai pasangan gen penentu warna putih.



**Gambar 3.1**  
Peta gen penentu sifat yang terdapat dalam kromosom

Kegiatan sel dikendalikan oleh gen di dalam inti. Pengendalian ini dilakukan dengan menyusun materi tertentu yang sesuai dengan pola gen untuk membentuk suatu rantai asam amino (polipeptida). Polipeptida tersebut difungsikan menjadi enzim yang akan mengatur reaksi metabolisme dalam sel.

Persenyawaan antara protein dan asam nukleat disebut *nukleo protein*. Nukleo protein merupakan penyusun kromosom. Dari kedua senyawa tersebut, hanya asam nukleat yang dapat membawa informasi genetik dari induk kepada keturunannya. Jadi, sebenarnya asam nukleat merupakan materi genetik atau faktor hereditas, meskipun kromosom yang umum disebut sebagai faktor hereditas. Asam nukleat sebagai materi DNA terdiri atas DNA (*deoxyribonucleic acid*) dan RNA (*ribonucleid acid*). Untuk mengetahui tentang DNA dan RNA, mari cermati uraian berikut ini.

## B

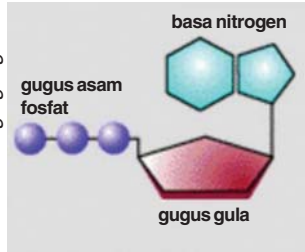
## DNA dan RNA

### 1. DNA (*Deoxyribonucleic Acid*)

Dari berbagai penelitian mengungkapkan bahwa DNA adalah pembawa sebagian besar atau seluruh sifat-sifat genetik di dalam kromosom. DNA terdapat di dalam nukleus dan bersama senyawa protein membentuk nukleo protein. Selain di dalam nukleus, molekul DNA juga terdapat dalam mitokondria, plastid, dan sentriol.



Sumber: Image.google.co.id



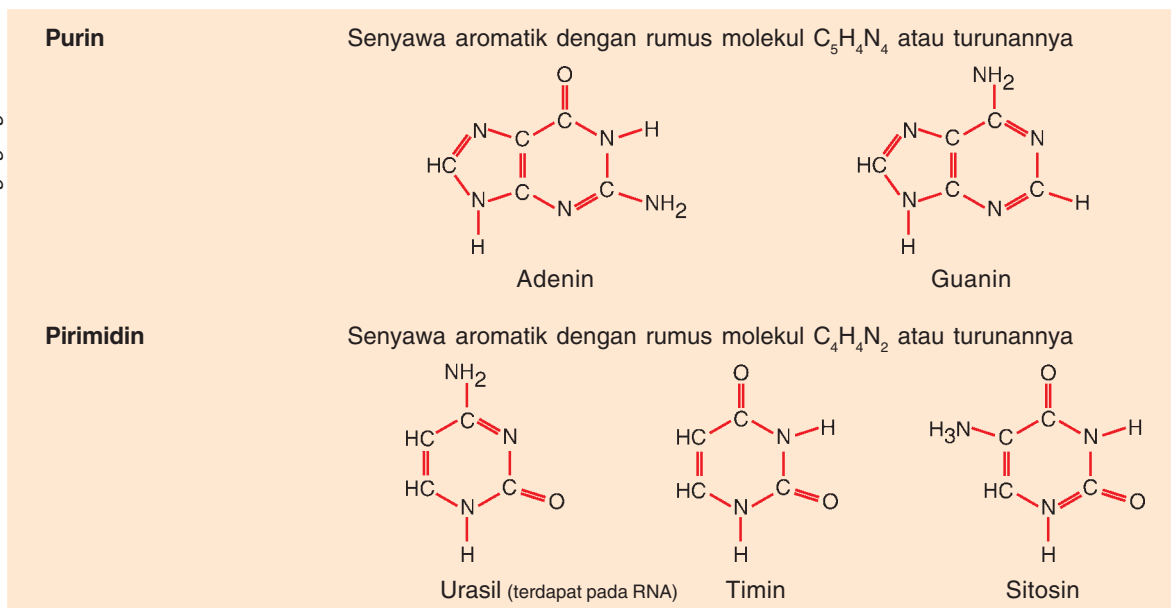
**Gambar 3.2**  
Struktur Nukleotida

Susunan kimia DNA adalah sebuah makromolekul yang kompleks. Molekul DNA disusun oleh dua rantai polinukleotida yang amat panjang. Satu rantai polinukleotida terdiri atas rangkaian nukleotida. Sebuah nukleotida tersusun atas:

- Gugus gula deoksiribosa (gula dengan lima atom karbon atau pentosa)
- Gugus asam fosfat (fosfat terikat pada C kelima dari gula)
- Gugus basa nitrogen (gugus ini terikat pada C pertama dari gula)

Basa nitrogen dapat digolongkan menjadi dua, yaitu basa purin dan basa pirimidin. Basa purin terdiri atas adenin (A) dan Guanin (G), sedangkan basa pirimidin terdiri atas sitosin (S) dan timin (T).

Sumber: Image.google.co.id



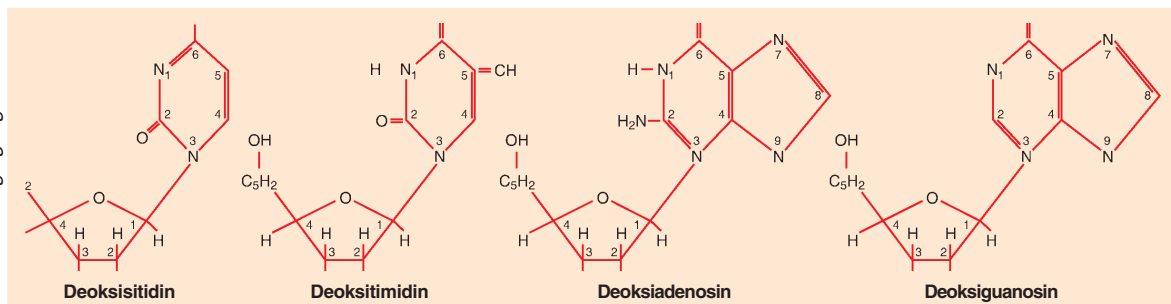
**Gambar 3.3**  
empat basa nitrogen

Gula dengan basa membentuk ikatan antara C pada gula dengan N pada basa purin dan N-H pada basa pirimidin. Senyawa yang terbentuk disebut *nukleosida* atau deoksiribonukleosida. Nukleosida dapat dibedakan menjadi empat macam, yaitu:

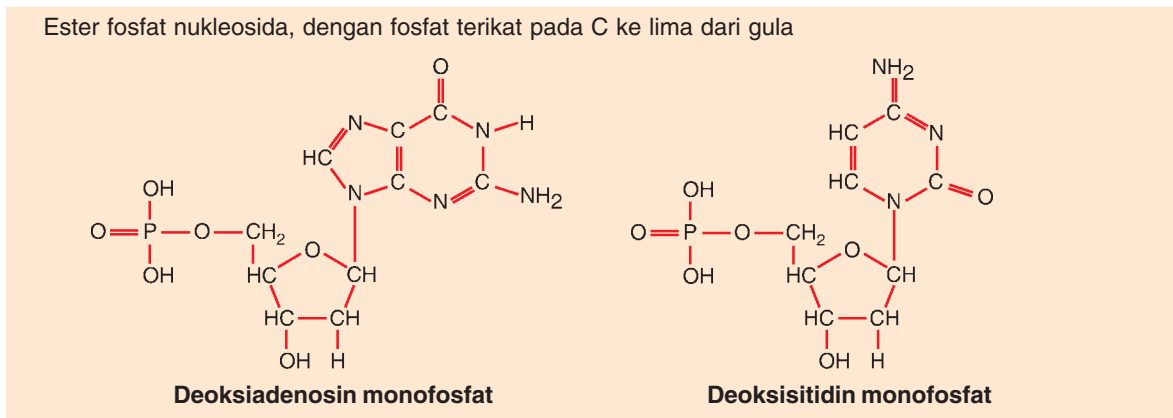
- Persenyawaan antara gula dengan basa adenin (*deoksi adenosin*).
- Persenyawaan antara gula dengan basa guanin (*deoksi guanosin*).
- Persenyawaan antara gula dengan basa timin (*deoksitimidin*).
- Persenyawaan antara gula dengan basa sitosin (*deoksisisitidin*).

**Gambar 3.4**  
empat macam nukleosida

Sumber: Image.google.co.id

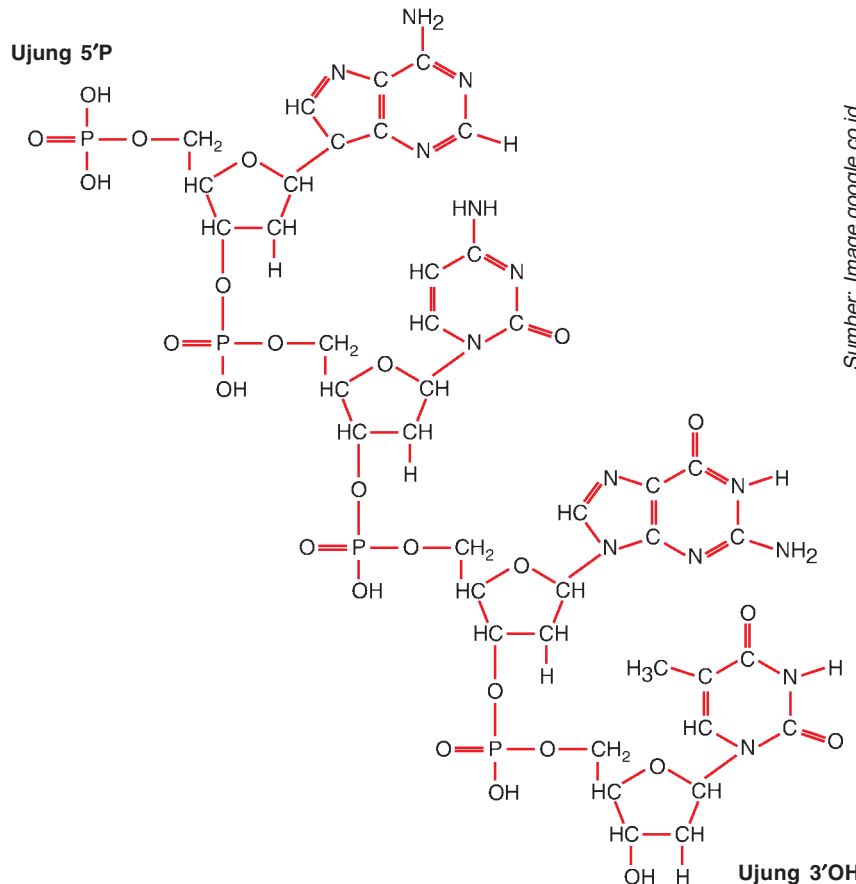


Selanjutnya, fosfat membentuk ester dengan nukleosida melalui pembentukan ikatan C5 pada gula. Ester fosfat -5-nukleosida ini disebut nukleotida. Ada 4 macam nukleotida, yaitu *adenosin deoksiribonukleotida*, *guanosin deoksiribonukleotida*, *sitidin deoksiribonukleotida*, dan *timidin deoksiribonukleotida*. Nukleotida-nukleotida tersebut dapat bergabung membentuk suatu rangkaian yang disebut *polinukleotida*. Benang polinukleotida yang saling berpilin (heliks ganda) membentuk DNA. Untuk lebih mengetahui struktur nukleotida dan polinukleotida, mari cermati Gambar 3.4.



Sumber: Image.google.co.id

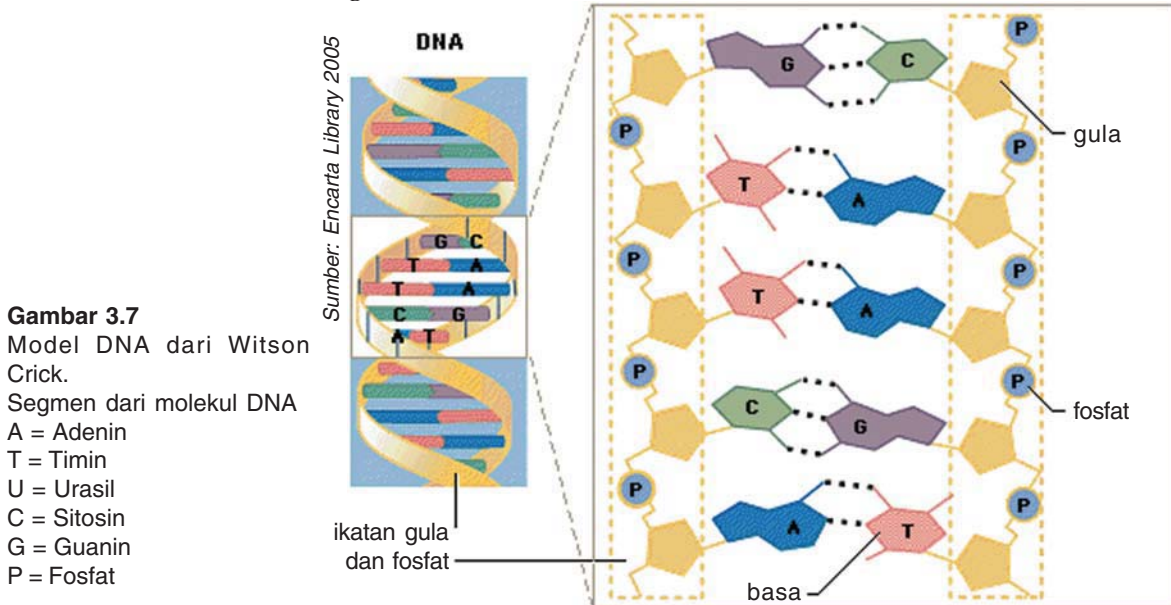
**Gambar 3.5**  
Contoh Nukleotida



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 3.6**  
Rantai polinukleotida untuk membentuk DNA

Berdasarkan hasil analisis refraksi sinar X oleh kristal DNA, James Watson (Amerika) dan Francis Crick (Inggris) pada 1953 menyimpulkan bahwa struktur molekul DNA berbentuk heliks ganda.



Molekul DNA mempunyai sifat-sifat, antara lain:

- 1) DNA berbagai organisme mempunyai kandungan adenin (A) yang sama dengan Timin (T). Perbedaan antara DNA dari spesies yang berlainan terletak antara kandungan A + T atau G + C.
- 2) Setiap molekul DNA disusun oleh dua rantai polinukleotida. Basa-basa dari kedua rantai tersebut berpasangan dengan aturan adenin berpasangan dengan Timin dan Guanin berpasangan dengan sitosin. Antara kedua basa yang berpasangan terbentuk ikatan hidrogen. Adanya ikatan ini memberikan kelenturan pada DNA.
- 3) DNA merupakan struktur yang aktif melakukan fungsi biologi.

## 2. RNA

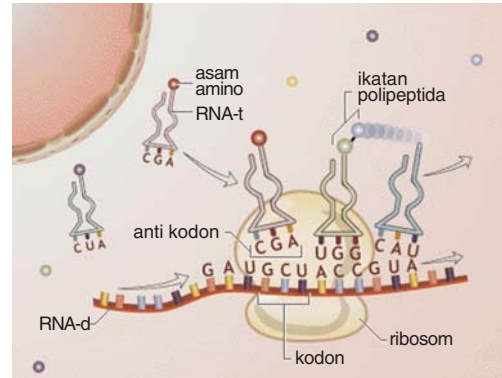
Pada sel-sel organisme prokariot dan eukariot, selain DNA terdapat pula asam nukleat lain yang penting, yaitu RNA atau asam ribonukleat. RNA merupakan seutas benang tunggal yang tersusun molekul gula ribosa, gugus fosfat, dan asam nitrogen. Basa nitrogen RNA terdiri atas golongan purin (adenin dan guanin) dan golongan pirimidin (sitosin dan urasil).

RNA dibentuk oleh DNA di dalam nukleus, melalui proses transkripsi DNA. Hasil transkripsi digunakan RNA untuk sintesis protein dalam sitoplasma sel.

Berdasarkan letak dan fungsinya, RNA dibedakan menjadi tiga macam, yaitu:

**a) RNA duta (RNA-d) atau m RNA**

RNA duta adalah RNA yang menjadi model cetakan dalam proses penyusunan asam amino pada rantai polipeptida atau sintesis protein. Disebut RNA duta, karena molekul ini merupakan penghubung DNA dengan protein dan membawa pesan berupa informasi genetik dari DNA untuk membentuk protein. Informasi genetik berupa urutan basa N pada RNA duta yang memesan suatu asam amino yang disebut *kodon*. Penyusunan rantai polipeptida tergantung dari urutan kodon pada RNA duta.



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 3.8**  
RNA dalam sintesis protein

Urutan kodon pada RNA-d yang dicetak DNA tergantung pada macam protein yang akan disintesis.

**b) RNA transfer (RNA-t)**

RNA-t mempunyai fungsi menerjemahkan kodon yang terdapat pada RNA-d menjadi satu jenis asam amino. Kemampuan menerjemahkan ini, disebabkan oleh adanya anti kodon yang merupakan komplemen dari kodon RNA-d. RNA-t juga berfungsi mengangkut asam amino ke permukaan ribosom pada saat translasi. Translasi adalah penerjemahan urutan nukleotida RNA-d menjadi urutan asam amino polipeptida.

**c) RNA ribosom (RNA-r)**

RNA-r merupakan RNA terbanyak, sekitar 83% dari RNA yang dikandung oleh suatu sel. RNA-r berperan dalam sintesis rantai protein sebagai tempat pertemuan RNA-d dan RNA-t.

RNA dan DNA memiliki perbedaan. Cermati perbedaannya pada Tabel 3.1 di bawah ini.

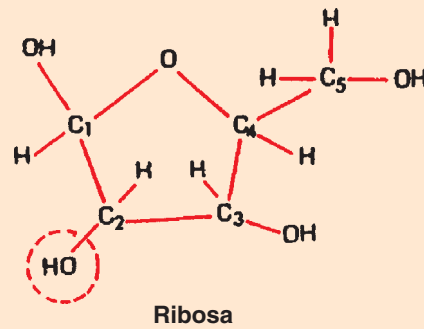
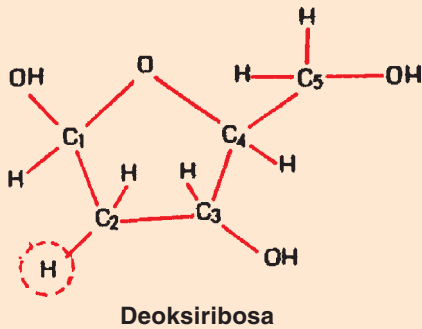
**Tabel 3.1** Perbedaan RNA dan DNA

DNA	RNA
1) Terdapat dalam nukleus sel, mitokondria, plastida, sentriol.	Terdapat dalam sitoplasma, dan nukleus, terutama dalam ribosom.
2) Membentuk rantai ganda yang amat panjang.	Membentuk rantai tunggal dan pendek.
3) Berhubungan erat dengan pengendalian faktor-faktor keturunan dan sintesis protein. Kadarnya tidak dipengaruhi oleh kecepatan sintesis protein.	Berhubungan dengan sintesis protein, dan kadarnya berubah-ubah, menurut kecepatan sintesis protein.
4) Mengandung pirimidin: sitosin (C) dan timin (T) dan purin: adenin (A) dan guanin (G).	Mengandung pirimidin: sitosin (C) dan urasil (U), purin: adenin (A) dan guanin (G).



5) Komponen gulanya deoksiribosa, yaitu ribosa yang kekurangan satu atom oksigen.

Komponen gulanya adalah ribosa (pentosa).



Sumber: Image.google.co.id

## C

### Kromosom

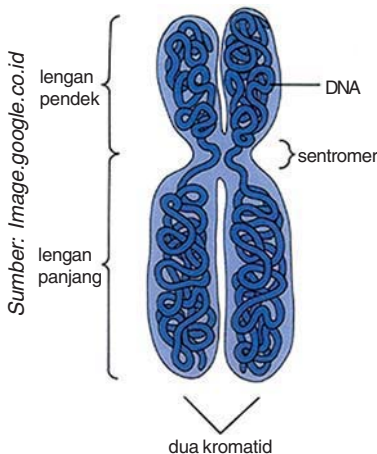
Pada saat sel aktif melakukan metabolisme, di dalam nukleus terdapat benang-benang halus seperti jala yang dapat menyerap warna. Benang-benang halus ini disebut *kromatin* (*chromo* = warna, dan *tin* = badan). Ketika sel akan membelah, benang kromatin menebal dan memendek, lebih mudah menyerap zat warna sehingga dapat dilihat dengan mikroskop. Benang kromatin yang menebal dan memendek ini, disebut *kromosom*.

#### 1. Penggolongan kromosom

Berdasarkan letak kromosom di dalam tubuh. Kromosom di bagi menjadi dua macam, yaitu kromosom tubuh (autosom) dan kromosom kelamin (kromosom sex). Di dalam sel tubuh terdapat sepasang kromosom atau diploid ( $2n$ ). Sepasang kromosom ini berasal dari induk betina (ovum) dan induk jantan (sperma). Masing-masing kromosom induk berjumlah  $n$  kromosom. Kromosom yang berpasangan tersebut, disebut *kromosom homolog*. Kromosom homolog adalah kromosom yang mempunyai struktur yang sama atau mempunyai lokus-lokus alel yang sama. Dalam sel tubuh manusia terdapat 23 macam kromosom homolog. Jumlah macam kromosom atau satu pasang kromosom haploid disebut *genom*.

Satu kromosom terdiri atas dua bagian, yaitu:

- 1) sentromer atau kinetokhor. Bagian ini berbentuk bulat dan tidak mengandung gen. Sentromer berfungsi untuk pergerakan kromosom dari daerah ekuator ke kutub masing-masing pada waktu pembelahan
- 2) Lengan merupakan badan kromosom. Di dalam lengan ini terdapat kromomena (bahan nukleo protein)



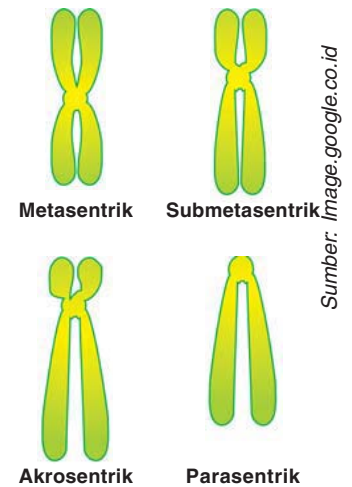
Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 3.9**  
Struktur kromosom

Letak sentromer menjadi ciri khas dari setiap pasangan kromosom. Berdasarkan letak sentromernya, kromosom dapat dikelompokkan menjadi beberapa macam, yaitu:

- (1) Metasentrik: sentromer terletak di tengah-tengah kromosom
- (2) Submetasentrik: sentromer dekat pada salah satu ujung kromosom
- (3) Aksosentrik: sentromer terletak di dekat ujung kromosom
- (4) Parasentrik: sentromer terletak di ujung kromosom.

Selain penggolongan kromosom di atas, bentuk kromosom dapat bermacam-macam yang disebabkan oleh letak sentromer yang bermacam-macam pula. Contohnya, ada kromosom yang menyerupai huruf L (satu lengan kromosom lebih panjang dari yang lain), kromosom menyerupai huruf I (sentromer terletak di ujung kromosom), dan kromosom yang menyerupai huruf V (kromosom mempunyai lengan sama panjang).



Sumber: [image.google.co.id](https://image.google.co.id)

**Gambar 3.10**  
Berbagai bentuk kromosom

## 2. Jumlah Kromosom

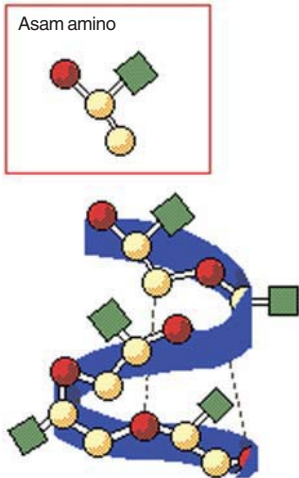
Dalam setiap organisme terdapat jumlah kromosom yang bervariasi. Jumlah kromosom haploid yang terdapat pada berbagai organisme dapat dilihat pada Tabel 3.2 di bawah ini.

**Tabel 3.2** Jumlah Kromosom (2n) pada Berbagai Hewan dan Tumbuhan

No.	Organisme	Jumlah Kromosom	No.	Organisme	Jumlah Kromosom
1.	Manusia	46	23.	Hidra	32
2.	Simpanse	48	24.	Cemara	24
3.	Kera	48	25.	Ceri	32
4.	Kuda	64	26.	Kubis	18
5.	Lembu/sapi	60	27.	Lobak	18
6.	Keledai	62	28.	Kacang polong	14
7.	Anjing	78	29.	Buncis	22
8.	Kucing	38	30.	Ketimun	14
9.	Tikus rumah	40	31.	Kapas	52
10.	Tikus sawah	42	32.	Kentang	48
11.	Merpati	80	33.	Tomat	24
12.	Ayam	78	34.	Tembakau	48
13.	Kalkun	82	35.	Gandum dipakai untuk membuat roti	42
14.	Katak	26	36.	Gandum dipakai untuk membuat bir (Barley)	14
15.	Ikan mas	94	37.	Jagung	20
16.	Bintang laut	36	38.	Beras	24
17.	Ulat sutera	56	39.	Bawang	16
18.	Lalat rumah	12	40.	Ragi	34
19.	Drosophila melanogaster	8	41.	Jamur	4
20.	Nyamuk	6	42.	Kapang <i>Penicillium</i>	2
21.	Kecoak	24			
22.	Cacing tanah	36			

## D Sintesis Protein

Sumber: Encarta Library 2005



Gambar 3.11 Protein

Protein adalah suatu makromolekul yang disusun oleh berbagai asam amino. Sedangkan, enzim adalah protein yang mempunyai kemampuan sebagai katalisator reaksi biokimia dalam proses metabolisme seluler. Berdasarkan hasil penelitian **Beadle dan Tatum** (1941), gen mengendalikan proses metabolisme atau kehidupan individu melalui proses pengendalian enzim. Jadi, perubahan struktur gen dapat menyebabkan perubahan struktur protein pada tingkat asam amino, yang selanjutnya akan menyebabkan perubahan dalam proses metabolisme.

Protein tidak disintesis langsung oleh gen, melainkan melalui proses *transkripsi* dan *translasi* (gen adalah nama fungsional, strukturnya adalah DNA). Transkripsi adalah proses replikasi DNA untuk membentuk RNA-d. Sedangkan, translasi adalah proses penerjemahan informasi genetik yang terdapat pada RNA-d menjadi runtunan asam amino polipeptida. Dalam transkripsi, DNA digunakan sebagai model untuk sintesis protein. Untuk lebih mengetahui tentang transkripsi dan translasi dalam sintesis protein, mari cermati uraian berikut ini.

### 1. Transkripsi

Transkripsi adalah proses transfer informasi genetik dari ruas DNA (gen) ke dalam molekul RNA yang dipandu oleh enzim transkriptase sebagai katalisatornya. Runtunan basa pada utas RNA-d ditentukan oleh runtunan basa yang terdapat pada satu ruas DNA, dan setiap basa tersebut akan dicari padanan ribonukleotidanya, kemudian dirangkaikan menjadi rantai RNA-d.

Pembacaan oleh transkriptase dimulai dari tanda awal (promotor) sampai tanda akhir (terminator). Hanya ruas yang diapit oleh kedua tanda itu yang akan ditranskripsikan. Gen merupakan pengendali protein sehingga gen harus terdapat pada ruas di antara promotor dan terminator.



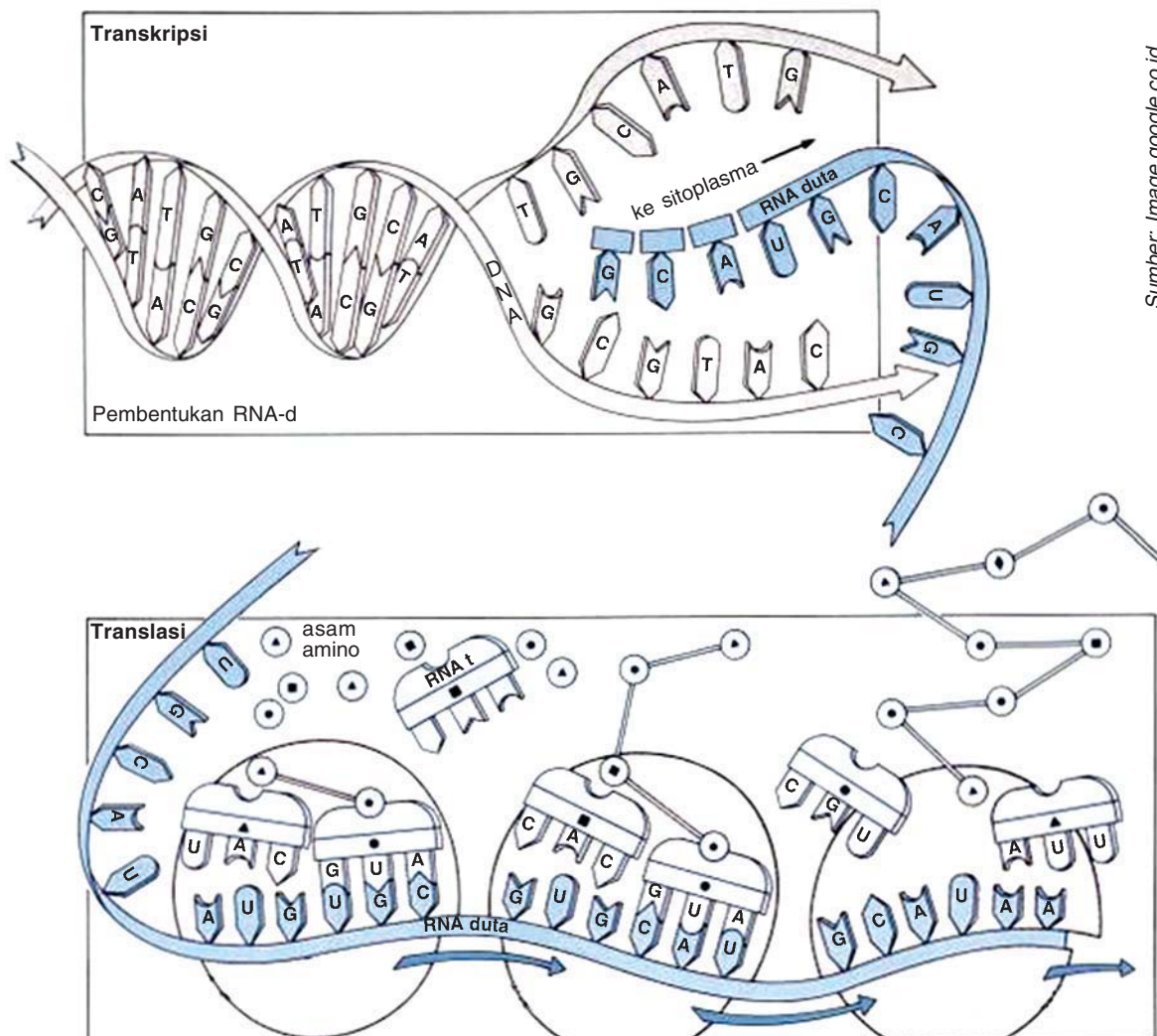
Diskusikan dengan teman sebangkumu. Di manakah tempat terjadinya transkripsi dan translasi?

### 2. Translasi

Setelah proses transkripsi di dalam inti sel selesai, selanjutnya RNA-d keluar dari inti untuk menjadi model cetakan dalam penyusunan rangkaian asam amino pada proses translasi. Informasi genetik yang dibawa oleh RNA-d terdapat pada runtunan basa yang dikandungnya. Setiap jenis kombinasi 3 basa yang berdampingan mengandung sandi genetik (kodon) tertentu, yang dapat diterjemahkan menjadi satu jenis asam amino. Dalam satu rantai RNA-d, hanya bagian tertentu yang menjadi pola cetakan dalam sintesis protein, yaitu ruas yang diapit oleh kodon awal (AUG) dan kodon akhir (UAA, UAG, UGA)

Setelah RNA-d sampai di ribosom, RNA-t mulai mengangkut asam amino ke dalam kompleks translasi (ribosom), serta membaca sandi-sandi (kodon) RNA-d. Selanjutnya, asam-asam amino yang dibawa oleh RNA-t dirangkai menjadi polipeptida. Kemampuan RNA-t menjalankan tugas tersebut, disebabkan karena adanya simpul anti kodon dan kemampuan satu kompleks dengan asam amino yang disebut *aminoasil-t RNA*.

Proses penerjemahan rangkaian kodon-kodon RNA-d menjadi rangkaian asam amino polipeptida disebut *translasi*. Untuk mengetahui proses transkripsi dan translasi dalam sintesis protein, mari cermati Gambar 3.12 di bawah ini.



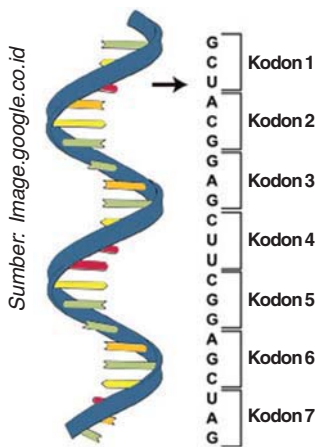
Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 3.12**  
Proses transkripsi dan translasi dalam sintesis protein



E

## Sandi Genetik



**Gambar 3.14**  
Kodon pada RNA

Sandi genetik merupakan hubungan antara asam amino yang terdapat pada rantai polipeptida dengan rangkaian nukleotida yang terdapat pada RNA-d. Rangkaian nukleotida dibentuk berdasarkan model DNA pada ruas gen. Sehingga, sandi genetik dapat diartikan sebagai aturan hubungan antar gen dengan protein.

Pada asam nukleat DNA atau RNA-d terdapat 4 jenis nukleotida (basa) yang menyusun rantainya. Pada polipeptida dikenal 20 jenis asam amino penyusunnya. Dengan adanya 20 jenis asam amino tersebut, harus ada aturan yang dapat menjamin pengendalian gen dalam pembentukan protein, selalu bersifat khas (satu gen hanya menyandikan satu jenis protein). Untuk menjamin kekhasan tersebut harus banyak faktor pengendali (kodon), sekurang-kurangnya sama dengan yang dikendalikan (asam amino). Hal ini bertujuan untuk mencegah adanya satu kodon mengendalikan lebih dari satu asam amino. Berdasarkan persyaratan ini, tidak mungkin satu asam amino dikendalikan hanya oleh satu nukleotida, karena keempat nukleotida yang ada tidak akan mencukupi untuk mengendalikan 20 asam amino. Sistem penyandian seharusnya didasarkan pada kombinasi dari nukleotida yang ada. Yang paling mungkin adalah setiap kodon merupakan kombinasi 3 nukleotida DNA sehingga akan diperoleh 64 kodon yang akan mencukupi untuk mengendalikan 20 asam amino.

Enam puluh empat kodon ini berfungsi menyandikan asam amino, tetapi akan ada kodon-kodon yang menyandikan satu jenis asam amino yang sama. Jadi, ada 3 kodon, yaitu UAA, UAG, dan UGA yang menjadi kodon akhir dan AUG yang menjadi kodon awal, keempat kodon ini tidak menyandikan asam amino. Sebagian besar asam amino dikendalikan lebih dari 1 kodon. Berbagai kodon yang menyandikan 1 jenis asam amino yang sama disebut *kodon sinonim*. Kodon-kodon diketahui tidak bertumpang tindih dan terletak berdampingan tanpa penyelang. Jadi, pembentukan asam amino akan dilakukan oleh rangkaian kodon RNA-d dimulai dari kodon dan diakhiri oleh salah satu kodon akhir.

Konsep sandi genetik ditemukan berkat keberhasilan peneliti mengembangkan sintesis protein dan asam nukleat secara *in vitro*. Untuk mengetahui kode genetik ini, mari perhatikan Tabel 3.3 berikut ini.

**Tabel 3.3** Kode Genetik (Kodon dari RNA-d)

Basa Pertama	Basa Kedua				Basa Ketiga
	G	A	C	U	
G	GGG Glisin	GAG Asam glutamat	GCG Alanin	GUG Valin	G
	GGA Glisin	GAA Asam glutamat	GCA Alanin	GUA Valin	A
	GGC Glisin	GAC Asam aspartat	GCC Alanin	GUC Valin	C
	GGU Glisin	GAU Asam aspartat	GCU Alanin	GUU Valin	U
A	AGG Arginin	AAG Lisin	ACG Treonin	AUG "Start" (Metionin)	G
	AGA Arginin	AAA Lisin	ACA Treonin	AUA Isoleusin	A
	AGC Serin	AAC Asparagin	ACC Treonin	AUC Isoleusin	C
	AGU Serin	AAU Asparagin	ACU Treonin	AAU Isoleusin	U
C	CGG Arginin	CAG Glutamin	CCG Prolin	CUG Leusin	G
	CGA Arginin	CAA Glutamin	CCA Prolin	GUA Leusin	A
	CGC Arginin	CAC Histidin	CCC Prolin	CUC Leusin	C
	CGU Arginin	CAU Histidin	CCU Prolin	CUU Leusin	U
	UGC Triptofan	UAG "Stop"	UCG Serin	UUG Leusin	G
	UGA "Stop"	UAA "Stop"	UCA Serin	UUA Leusin	A
	UGC Sistein	UAC Tirosin	UCC Serin	UUC Fenilalanin	C
	UGU Sistein	UAU Tirosin	UCU Serin	UUU Fenilalanin	U

Dalam sintesis protein dapat terjadi kesalahan dalam menerjemahkan kode-kode yang diterima dari DNA. Jika terjadi kesalahan penerjemahan, akibatnya protein yang disusun juga keliru sehingga enzim yang dihasilkan juga salah. Jika hal ini terjadi, maka metabolisme akan terganggu. Misalnya, kodon GAA yang seharusnya diterjemahkan menjadi asam glutamat, tetapi oleh RNA-t dibaca GUA yang diterjemahkan menjadi valin, atau dibaca AAA yang diterjemahkan menjadi lisin. Hal ini, menyebabkan polipeptida yang dihasilkan tidak sesuai dengan perintah DNA.

Kesalahan ini berpengaruh pada proses pembentukan hemoglobin. Hemoglobin normal seharusnya mengandung asam glutamat, tetapi karena terjadi kesalahan dalam penerjemahan, hemoglobin mengandung valin atau lisin. Hal ini menyebabkan hemoglobin menghasilkan sel sabit. Sel sabit menyebabkan kelainan yang disebut *siklemia*. Siklemia diturunkan kepada keturunannya dan menyebabkan mutasi.



Kesalahan RNA-t dalam menerjemahkan sandi dari RNA-d dapat menyebabkan kelainan apa saja. Diskusikan dengan teman sebangkumu.

Jadi, kesalahan RNA-t menafsirkan kode-kode genetik dari DNA juga merupakan salah satu mekanisme mutasi gen. Mutasi gen menyebabkan perubahan sifat yang diwariskan secara turun temurun. Untuk lebih memahami tentang DNA dan proses replikasi, coba kamu lakukan percobaan berikut ini.



### Mari Mencoba

Bekerjalah dengan temanmu.

#### Judul

Membangun Tangga DNA

#### Tujuan

Setelah melakukan kegiatan ini, kamu dapat menyusun suatu model molekul DNA.

#### Bahan dan Alat

- 1) Potongan-potongan kertas berwarna merah, biru, hijau dan kuning dengan ukuran panjang: 1 cm dan lebar 1 cm
- 2) Lem atau *double tipe*
- 3) Gunting
- 4) Karton putih

#### Cara Kerja

- 1) Siapkan potongan-potongan kertas berwarna.
- 2) Potongan kertas merah untuk molekul A, yang biru untuk molekul T, yang kuning untuk molekul C, dan yang hijau untuk molekul G.
- 3) Untuk *anak tangga* diperlukan 3 potong untuk setiap macam potongan kertas berwarna.
- 4) Pada *ibu tangga*, S mewakili molekul gula, dan P mewakili kelompok fosfat (lihat model DNA Watson crick pada Gambar 3.7).
- 5) Buatlah ibu tangga sebelah kiri, bacaan dari atas ke bawah:  
A  
T  
A  
C  
G  
G  
G  
C  
C  
C

G  
T  
A  
T  
C  
G

- 6) Lakukan langkah-langkah berikut ini.
- Tempatkan molekul A (potongan kertas merah) di samping molekul gula (S) yang pertama.
  - Tempatkan molekul T disamping molekul gula (S) yang kedua dan seterusnya.
  - Lakukan dengan cara yang sama pada ibu tangga sebelah kanan untuk menyusun masing-masing anak tangga.  
Molekul A hanya dapat berpasangan dengan molekul T, dan molekul C hanya dapat berpasangan dengan molekul G.

- 7) Bagaimana peristiwa terjadinya replikasi DNA?

Coba kamu bayangkan bahwa molekul DNA yang baru saja kamu buat sedang mengalami pembelahan. Anak-anak tangga akan mengalami keretakan atau berpisah. Molekul A akan memisahkan diri dari molekul T, dan molekul C memisahkan diri dari molekul G.

Ambil potongan-potongan kertas berwarna, dan letakkan potongan-potongan kertas tersebut pada masing-masing separuh dari anak tangga yang bersesuaian.

### Pertanyaan

- Dari manakah sel-sel tersebut memperoleh molekul-molekul gula (S), fosfat (P), Adenin (A), Timin (T), Guanin (G), dan Cytosine (C)?
- Apakah yang akan terjadi bila DNA yang baru tidak serupa dengan DNA yang lama?

Apa yang dapat disimpulkan? Diskusikan hasil kelompokmu dengan kelompok lain.





Kamu telah mempelajari materi genetik. Hal-hal penting apa sajakah yang harus diketahui dalam mempelajarinya? Catatlah dalam bentuk rangkuman. Kemudian, tukarlah hasil rangkumanmu dengan rangkuman teman. Berikan masukan dan saran pada rangkuman masing-masing.

## Daftar Istilah

<b>Alel</b>	= pasangan gen yang berada pada lokus yang sama pada kromosom homolog.
<b>Anti kodon</b>	= urutan tiga (3) basa yang merupakan komplemen dari kodon. Anti kodon terdapat pada RNA-t, sedangkan kodon terdapat pada RNA-d.
<b>Double helix</b>	= bentuk benang DNA yang terdiri atas dua benang polinukleotida yang saling berpilin.
<b>Genom</b>	= sejumlah kromosom yang membentuk satu perangkat yang lengkap.
<b>Kromosom</b>	= benang-benang pembawa sifat, karena mengandung gen. Kromosom terdiri atas benang-benang kromatin.
<b>Kromosom homolog</b>	= kromosom pasangan yang memiliki gen dan lokus yang sama.
<b>Lokus</b>	= letak atau tempat gen dalam kromosom
<b>Nukleosida</b>	= persenyawaan kimia yang dibentuk dari ikatan molekul gula dan basa nitrogen
<b>Nukleotida</b>	= persenyawaan kimia yang dibentuk dari ikatan molekul gula, basa nitrogen dan asam fosfat.
<b>Replikasi</b>	= proses penggandaan DNA menjadi dua DNA yang identik.
<b>Sentromer</b>	= bagian kromosom yang berfungsi sebagai tempat perlekatan benang-benang spindel pada pembelahan mitosis.
<b>Transkripsi</b>	= proses sintesis RNA dengan menggunakan DNA sebagai acuan.
<b>Translasi</b>	= proses penerjemahan kodon menjadi asam amino pada sintesis protein

## M a r i B e r k o m p e t e n s i

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat di setiap soal-soal berikut.

- Asam nukleat ditemukan ....
  - hanya di dalam nukleus
  - di dalam semua sel hidup
  - hanya di dalam sitoplasma
  - di dalam semua nukleotida
  - di dalam mitokondria
- Nukleotida tersusun atas suatu basa nitrogen yang terikat antara ....
  - fosfat yang terikat dengan asam amino
  - gugus gula yang terikat dengan fosfat
  - ribosa yang terikat dengan deoksiribosa
  - timin yang terikat dengan urasil
  - ribosa dan timin
- Suatu perbedaan utama antara DNA dan RNA adalah bahwa di dalam RNA ....
  - urasil diganti oleh timin
  - urasil diganti oleh adenin
  - timin diganti oleh urasil
  - adenin diganti oleh urasil
  - guanin diganti oleh urasil
- Dari keempat basa N berikut ini, yang manakah terdapat dalam RNA?
  - Adenin, timin, guanin, dan sitosin
  - Adenin, guanin, sitosin, dan urasil
  - Guanin, sitosin, timin, dan urasil
  - Guanin, urasil, timin, dan adenin
  - Sitosin, urasil, timin dan adenin
- Pasangan guanin adalah ....
  - timin
  - adenin
  - urasil
  - sitosin
  - guanin
- Agar dapat memberikan instruksi untuk menciptakan 20 asam amino esensial, kode DNA perlu dibentuk atau disusun dari ....
  - 4 nukleotida tunggal
  - 4 pasang nukleotida
  - paling sedikit 3 nukleotida
  - paling sedikit 4 nukleotida
  - 2 nukleotida
- Pembentukan protein di dalam sel terutama berlangsung di dalam ....
  - mitokondria
  - ribosom
  - nukleus
  - kromosom
  - lisosom
- RNA transfer berkaitan dengan penyampaian ....
  - protein
  - polipeptid
  - nukleotida
  - asam amino
  - kode
- Suatu protein khusus yang dihasilkan di dalam sel adalah hasil dari ....
  - urutan nukleotida di dalam molekul DNA
  - urutan gula dan fosfat di dalam molekul DNA
  - urutan asam amino di dalam RNA transfer
  - jumlah ribosom di dalam sel
  - jumlah sel di dalam tubuh
- Ilmuwan dapat menciptakan gen-gen baru dan menempatkannya di dalam sel-sel. Teknik ini dikenal sebagai ....
  - DNA transfer
  - mutasi DNA
  - replikasi DNA
  - DNA rekombinan
  - translasi
- Molekul-molekul DNA dari kebanyakan organisme tersusun dalam rantai yang

panjang yang disebut ....

- a. polipeptid
- b. protein
- c. nukleotida
- d. kromosom
- e. asam amino

12. Reproduksi seksual memberi organisme

....

- a. kromosom-kromosom baru yang lengkap
- b. kombinasi gen yang baru
- c. DNA rekombinan
- d. kombinasi gen yang tak dapat diubah
- e. gen baru

13. Yang bertugas menerjemahkan kode genetik saat sintesis protein adalah ....

- a. DNA
- b. RNA-t
- c. RNA-d
- d. DNA dan RNA
- e. RNA-r

14. Pasangan-pasangan basa di dalam DNA secara bertahap, adalah ....

- a. A - T dan S - U
- b. A - T dan G - S
- c. G - T dan A - S
- d. G - T dan A - U
- e. G - T dan T - U

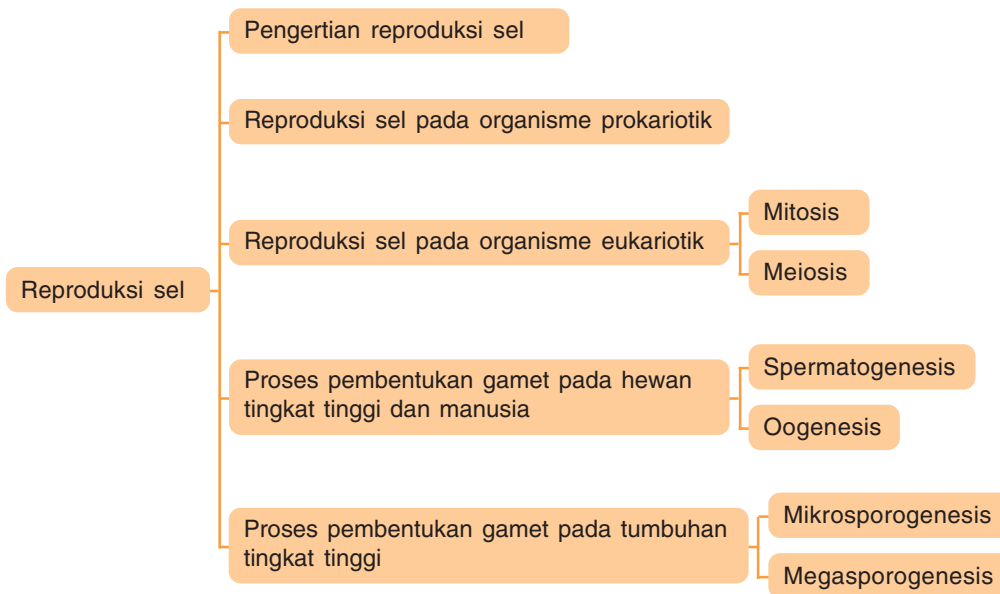
15. Misalkan rantai DNA memiliki urutan AAA - TGC - GCA, transkripsi DNA tersebut adalah ....

- a. TTT - ACG - CGT
- b. UUU - ACG - CGU
- c. TTT - CGA - CGT
- d. TTT - AGC - CGA
- e. UUU - AGC - CGU

**B. Jawablah soal-soal berikut dengan singkat dan jelas.**

1. Jelaskan struktur DNA dengan diagram menurut model Watson-Crick.
2. Bedakan DNA dan RNA berdasarkan struktur dan fungsinya.
3. Apa yang kamu ketahui tentang kode genetik? Ceritakan bagaimana kode itu diterjemahkan, dan tujuannya.
4. Berilah penjelasan bahwa ada hubungan antara kekeliruan penafsiran kode genetik oleh RNA dengan mutasi dan keanekaragaman makhluk hidup.
5. Jelaskan apa yang dimaksud dengan kromosom homolog dan kromosom nonhomolog.

Peta Konsep





Masih ingatkah kamu, apa yang dimaksud dengan pertumbuhan? Pertumbuhan merupakan penambahan sel sehingga suatu individu bertambah besar. Pertumbuhan sel ini terjadi, karena proses pembelahan sel atau reproduksi sel. Pembelahan sel dibagi menjadi dua, yaitu pembelahan sel secara langsung dan tidak langsung. Pembelahan sel secara langsung terjadi tanpa melalui tahap-tahap tertentu. Sedangkan, pembelahan tak langsung terjadi melalui beberapa tahap, yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase. Pembelahan sel secara tak langsung dibagi menjadi dua macam, yaitu mitosis dan meiosis. Setelah mempelajari bab ini, kamu akan memahami proses mitosis dan meiosis, mari ikuti uraian berikut ini.

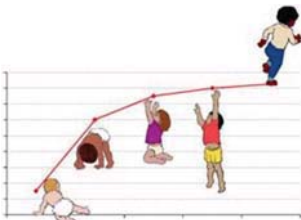
## A Pengertian Reproduksi Sel

Sel merupakan unit dasar kehidupan. Reproduksi sel adalah proses memperbanyak jumlah sel dengan cara membelah diri, baik pada organisme uniseluler maupun multiseluler. Pembelahan sel pada organisme uniseluler merupakan suatu cara bagi organisme tersebut untuk melestarikan jenisnya. Sedangkan, bagi organisme multiseluler, pembelahan sel menyebabkan pertumbuhan dan perkembangan organisme. Misalnya, pada manusia, sel-sel memperbanyak diri sehingga tubuh manusia tersebut menjadi besar dan tinggi. Selain itu, reproduksi sel pada organisme multiseluler juga menghasilkan sel-sel gamet yang berguna pada saat perbanyakkan secara generatif (reproduksi organisme melalui proses perkawinan).

Reproduksi sel merupakan proses penggandaan materi genetik (DNA) yang terdapat di dalam nukleus. Sehingga, menghasilkan sel-sel anakan yang memiliki materi genetik yang sama.

Berdasarkan organisasi sel, organisme dapat dibedakan menjadi dua, yaitu organisme prokariotik dan eukariotik. Pada organisme prokariotik, reproduksi sel dilakukan dengan cara membelah diri (pembelahan biner). Sedangkan, reproduksi sel pada organisme eukariotik dengan cara mitosis dan meiosis.

Sumber: Image.google.co.id

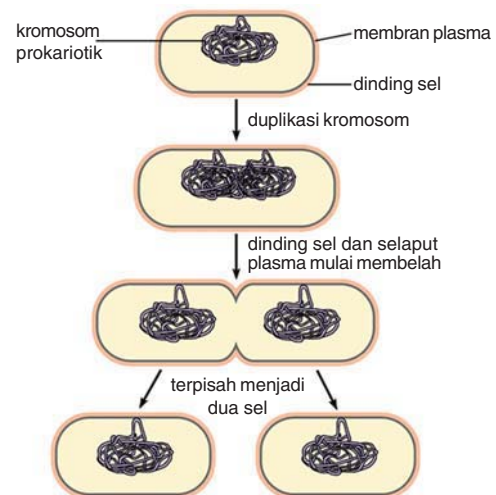


**Gambar 4.1**  
Pertumbuhan anak

## B Reproduksi Sel pada Organisme Prokariotik

Reproduksi sel pada organisme prokariotik, seperti bakteri dan protozoa, terjadi melalui proses pembelahan sel secara langsung, yaitu dari satu sel akan membelah menjadi dua sel yang sama besar dan mengandung materi genetik yang sama. Pembelahan sel seperti ini disebut *pembelahan biner*. Pembelahan biner tidak mengalami tahapan-tahapan pembelahan, seperti pembelahan sel secara mitosis dan meiosis.

Proses pembelahan biner pada sel bakteri diawali dengan sintesa bahan-bahan yang diperlukan untuk membuat sel baru. Pada awal pembelahan sel, kromosom yang terdapat bebas di dalam sel akan menempel pada dinding sel, kemudian bersama-sama dengan pembesaran ukuran sel, berlangsung sintesis sel atau replikasi DNA (penggandaan kromosom). Setelah DNA baru selesai dibentuk, dan sel telah mencapai pembesaran maksimum, akan terjadi pembelahan sel menjadi dua bagian yang memiliki bahan genetik yang sama.



**Gambar 4.2**  
Pembelahan sel bakteri

Sumber: Image.google.co.id

Reproduksi sel pada organisme eukariotik terjadi melalui proses pembelahan sel yang diawali dengan penggandaan materi genetik (replikasi DNA), kemudian diikuti pembelahan kromosom. Pembelahan kromosom ini akan diikuti oleh pembelahan nukleus, lalu diakhiri dengan pembelahan sel.


Pembelahan sel pada organisme eukariotik dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu *mitosis* dan *meiosis*. Mitosis dapat terjadi pada setiap organ dan berfungsi membentuk sel dengan jumlah kromosom yang sama. Sedangkan, pembelahan meiosis hanya berlangsung pada jaringan organ seks dan berfungsi mereduksi jumlah kromosom menjadi separuhnya.

Mitosis dan meiosis merupakan pembelahan sel secara tidak langsung, yaitu melalui tahapan-tahapan tertentu, dan ditandai dengan penampakan yang berbeda-beda dari kromosom yang dikandungnya. Pada saat pembelahan sel, kromosom mudah diamati di bawah mikroskop, karena benang-benang kromatin menebal dan memendek serta mudah menyerap warna. Sebelum sel membelah, sel melakukan persiapan, seperti pembelahan organel-organel sel, setelah pembelahan sel selesai, terjadi proses pertumbuhan atau pertambahan sel. Untuk mengetahui proses pembelahan sel tersebut, mari cermati uraian berikut.

## 1. Siklus Sel

Siklus sel adalah peristiwa pertumbuhan sel menurut tahapan tertentu, dan setelah melalui semua tahapan akan kembali kepada tahapan semula. Siklus sel dapat dibagi menjadi dua tahapan, yaitu tahapan interfase dan tahapan mitotik (fase pembelahan).

## C Reproduksi Sel pada Organisme Eukariotik



**Mari Berdiskusi**

Diskusikanlah dengan teman sebangkumu.

Mengapa interfase sering disebut tahap istirahat? Bagaimana pendapatmu tentang hal tersebut?

### a. Interfase

Interfase sering disebut *tahap istirahat*. Hal ini tidak tepat, karena dalam tahap ini sel dalam keadaan aktif melakukan metabolisme, termasuk mempersiapkan diri sebelum pembelahan. Pada tahap ini, di dalam sel terdapat membran yang membungkus inti sel. Kromosom tidak tampak karena kromosom dalam bentuk utas molekul DNA yang halus dan tidak menggulung sehingga tidak dapat dilihat di bawah mikroskop cahaya.

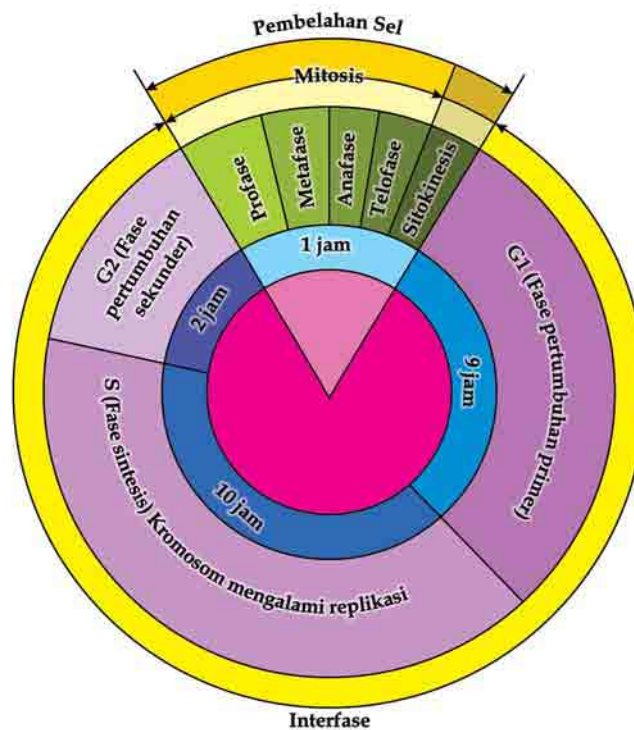
Interfase dapat dibagi menjadi 3 tahap, yaitu:

- 1) Fase G1 : Sel hasil pembelahan memasuki pertumbuhan sel baru dan terus menerus melakukan pembelahan organel.
- 2) Fase S : Dalam sel terjadi proses replikasi DNA sebagai materi genetik yang akan diturunkan.
- 3) Fase G2 : Sel tumbuh membesar dan menyiapkan segala keperluan untuk pembelahan sel.

### b. Fase Pembelahan

Fase ini disebut juga fase mitotik. Pada fase ini terjadi proses pembelahan sel, baik proses mitosis maupun meiosis. Untuk lebih mengetahui tentang siklus sel. Mari cermati Gambar 4.3. di bawah ini.

Sumber: [Image.google.co.id](https://image.google.co.id)



**Gambar 4.3**  
Siklus sel

## 2. Pembelahan Mitosis

Mitosis terjadi pada proses perbanyakkan sel atau proses pertumbuhan suatu jaringan. Contohnya, pada pembentukan sel-sel darah merah atau pertumbuhan jaringan di daerah meristem. Mitosis merupakan periode pembelahan sel yang menghasilkan sel anak dengan jumlah kromosom sama seperti induknya, yaitu  $2n$ . Mitosis dapat dibagi menjadi 4 tahap, yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase. Untuk mengetahui tahap-tahap pembelahan mitosis tersebut, mari cermati pembelahan berikut ini.

### a. Profase

- 1) Nukleolus tidak tampak lagi dan membran nukleus telah melebur.
- 2) Kromatin mengalami penebalan dan memendek menjadi kromosom sehingga bisa dilihat dibawah mikroskop. Benang-benang kromosom berpasangan, tiap-tiap kromosom menggandakan diri membentuk struktur simetris yang disebut *kromatid*. Kedua kromatid masih disatukan pada satu titik yang disebut *sentromer*.
- 3) Pada sel hewan terdapat sepasang sentriol yang memisahkan diri ke kutub-kutub yang berlawanan. Setelah sampai di kutub, sentriol membentuk benang-benang spindel yang melekat pada sentromer di setiap kromatid.

### b. Metafase

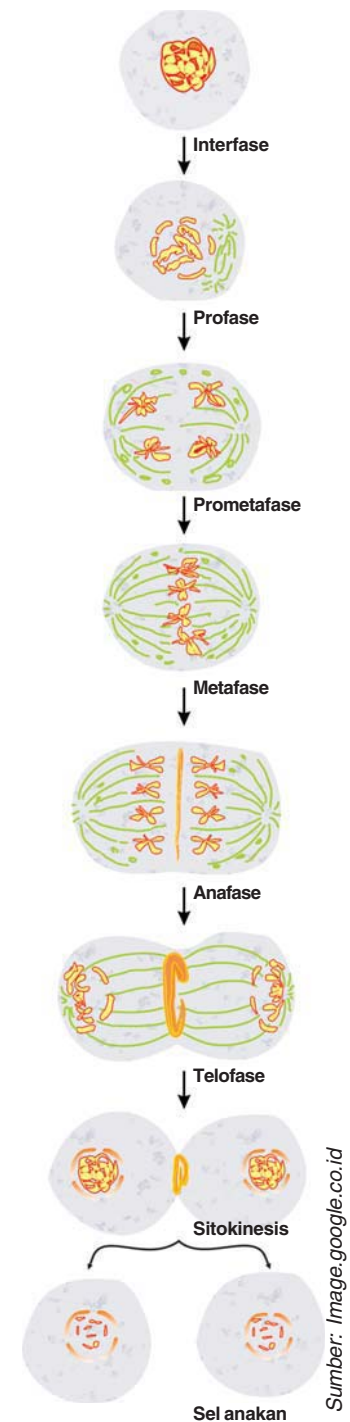
Kromosom terletak pada bidang di tengah sel dengan sentromer menempel pada benang spindel. Bidang di tengah sel ini disebut *bidang equator*. Posisi kromosom yang tersebar pada bidang equator ini menyebabkan jumlah kromosom dapat dihitung dengan tepat dan bentuk kromosom dapat dipelajari.

### c. Anafase

Daya tarik benang-benang spindel akan menyebabkan kedua kromatid terlepas dari ikatan sentromer menuju kutub masing-masing menjadi 2 kromosom baru. Jumlah kromosom yang menuju ke kutub yang satu sama dengan kromosom yang menuju ke kutub yang lain.

### d. Telofase

- 1) Kromosom telah berkumpul di kutub masing-masing.
- 2) Membran inti muncul dan membungkus dua kelompok kromosom yang telah terpisah tersebut menjadi dua inti baru.
- 3) Kromosom makin lama makin menipis, kemudian menjadi benang-benang kromatin kembali. Sehingga, tidak dapat di lihat.
- 4) Nukleolus dapat dilihat kembali.



Sumber: Image.google.co.id

Gambar 4.4  
Pembelahan mitosis



### e. Sitokinesis

Setelah terbentuk dua inti sel, kemudian akan terjadi perpisahan sitoplasma dengan pembentukan dinding (sekat pemisah) yang terbentuk dimulai dari pinggir sel menuju ke tengah memisahkan kedua inti menjadi 2 sel baru.

## 3. Pembelahan Meiosis

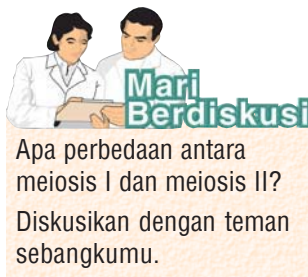
Pembelahan meiosis berlangsung pada saat pembentukan sel gamet pada organisme diploid atau pada saat pembentukan spora nonseksual pada jamur. Meiosis berlangsung di jaringan organ reproduksi seksual atau pada jaringan nutfah. Pada pembelahan meiosis, setiap sel anak akan menerima separuh dari jumlah kromosom yang terdapat pada sel induk. Misalnya, manusia memiliki 46 kromosom dalam sel tubuhnya. Setelah terjadi pembelahan meiosis pada organ reproduksinya, seperti testis atau ovarium, akan terbentuk gamet yang mengandung hanya 23 kromosom.

Meiosis dapat dibagi menjadi dua periode pembelahan, yaitu Meiosis I dan Meiosis II. Masing-masing periode terdiri atas tahap-tahap profase, metafase, anafase, dan telofase. Hasil akhir pembelahan meiosis adalah 4 sel anak yang haploid.

### a. Meiosis I

#### 1) Profase I

- a) Leptoten : merupakan tahap pertama profase, kromatin membentuk benang halus leptonema (kromosom) sehingga kromosom tampak seperti massa yang tidak teratur.
- b) Zigoten : Proses penebalan berjalan terus dan kromosom mulai berpasangan dengan homolognya.
- c) Pakiten : Kromosom yang homolog terdiri atas 4 kromatid yang disebut *tetrad*. Pasangan 2 kromosom homolog disebut *bivalen*. Pasangan 3 atau 4 kromosom homolog disebut *trivalen* atau *tetravalen*.
- d) Diploten : Kromatid pada kromosom homolog dapat saling melilit dan bertukar ruas satu dengan yang lain, disebut *pindah silang*. Dua kromatid yang disatukan oleh satu sentromer disebut *kromatid bersaudara*. Kontak antar kromatid bersaudara disebut *kiasma*.
- e) Diakinesis : Tahap akhir profase I, membran inti melarut.



**2) Metafase 1**

Benang spindel keluar dari kutub yang berlawanan dan mengait pada sentromer kromosom yang telah berpasangan. Semua bivalen terletak pada bidang equator.

**3) Anafase 1**

Kromosom homolog bergerak ke arah kutub yang berlawanan dengan dua kromatid bersaudara masih tetap terikat pada sentromernya.

**4) Telofase 1**

Dua kelompok gugus kromosom tiba di dua kutub yang berlawanan, masing-masing memiliki separuh jumlah gugus kromosom sel induk. Masing-masing kromosom masih membawa dua kromatid bersaudara. Selaput inti mulai terbentuk dan sel-sel anakan memisah.

**b. Meiosis II**

Pada meiosis II, tahap-tahap yang terjadi dalam meiosis I terulang kembali. Agar berbeda, tahap-tahap meiosis II dinamakan Profase II, Metafase II, Anafase II, dan Telofase II.

**1) Profase II**

Selaput inti dan nukleus dalam sel mulai menghilang dan benang-benang spindel menarik sentromer kedua kutub yang berbeda.

**2) Metafase II**

Kromosom terletak pada bidang equator dan setiap sentromer pada kromosom diikat oleh benang spindel.

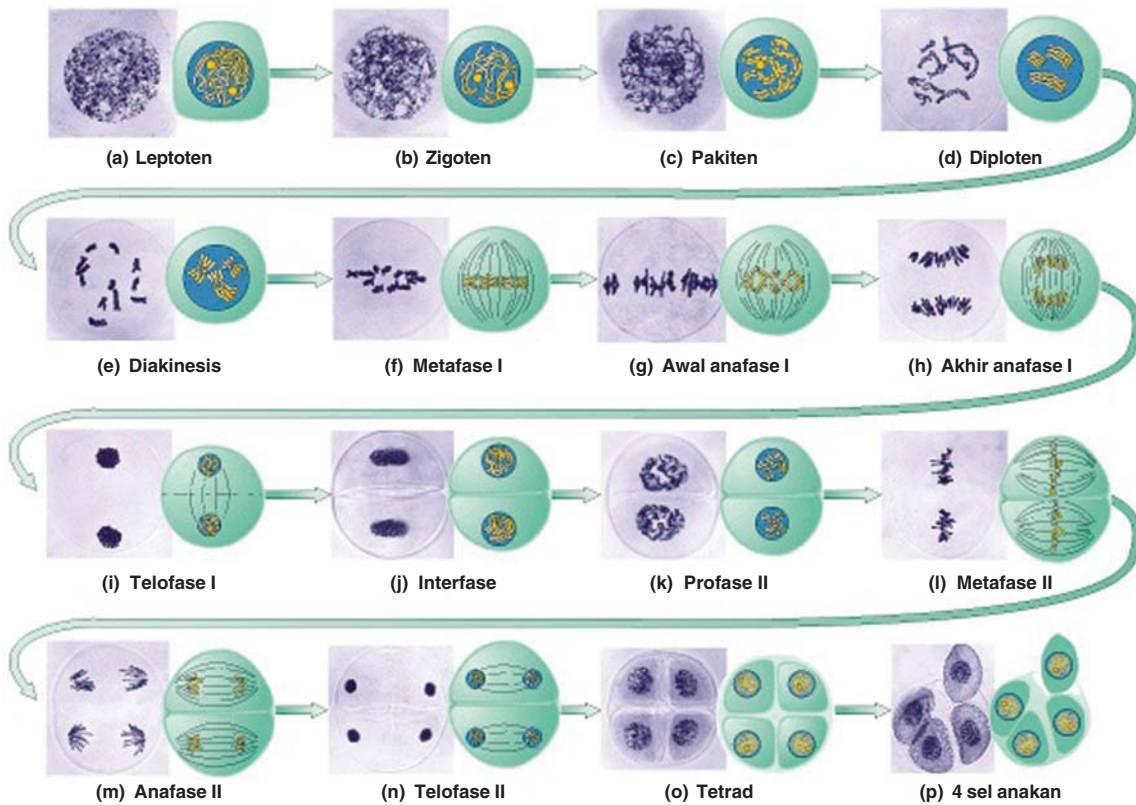
**3) Anafase II**

Sentromer membelah dan dua kromatid berpisah, kemudian bergerak ke arah berlawanan menuju kutub.

**4) Telofase II**

Kromosom berkumpul pada kutub yang berbeda, dan membran inti muncul membungkus kelompok kromosom tersebut. Setelah melewati 2 kali pembelahan, maka dari satu sel akan dihasilkan 4 sel dengan masing-masing sel mengandung kromosom separuh jumlah sel induknya.

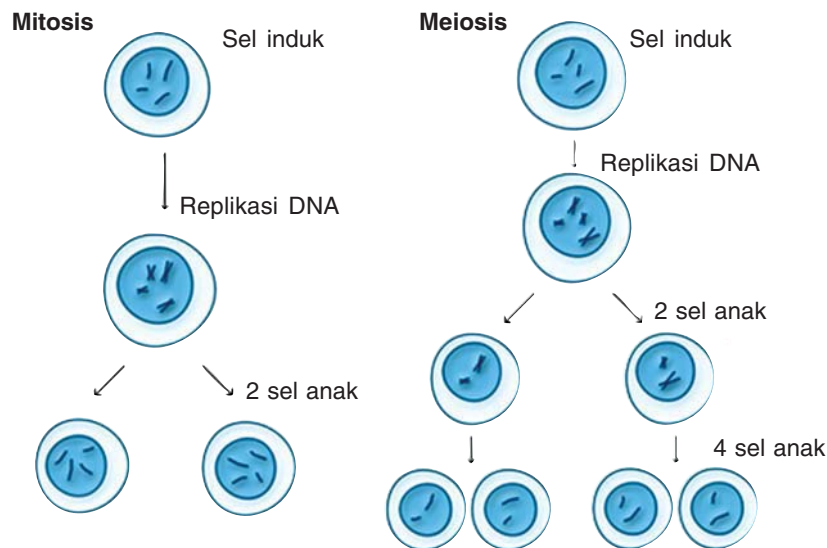
Sumber: Image.google.co.id



**Gambar 4.5**  
Reproduksi sel secara meiosis

**Tabel 4.1** Perbandingan Mitosis dan Meiosis

Mitosis	Meiosis
Terjadi pada semua sel tubuh (autosom) yang sedang memperbanyak diri.	Hanya terjadi pada sel gonad pada saat pembentukan gamet
Hanya terdapat satu tahap pembelahan dalam satu siklus pembelahan sel.	Terdapat dua tahap pembelahan, yaitu meiosis I dan meiosis II.
Tidak terdapat pasangan kromosom homolog, yang berpisah adalah kromatid-kromatid yang bergerak menuju kutub yang berbeda.	Terdapat pasangan kromosom homolog pada meiosis I, kemudian setiap anggota pasangan kromosom akan bermigrasi menuju kutub yang berbeda. Pada meiosis II baru terjadi pemisahan kromatid seperti pada mitosis.
Tidak terjadi pertukaran segmen kromosom.	Terjadi pindah silang antara kromosom homolog yang berpasangan.
Sel baru yang dihasilkan dari suatu mitosis akan mempunyai struktur genetik yang sama dengan sel awal.	Sel yang dihasilkan melalui proses meiosis akan mempunyai jumlah kromosom separuh dari sel semula.
Hasil akhir dari pembelahan satu sel adalah dua sel baru yang sama.	Hasil akhir dari pembelahan satu sel adalah empat sel baru yang mempunyai jumlah kromosom separuh dari sel induk.



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 4.4**  
Perbandingan meiosis dan mitosis

Untuk lebih mengetahui tentang pembelahan mitosis dan meiosis, coba kamu lakukan kegiatan berikut ini.



### Mari Mencoba

Bekerjalah dengan temanmu.

#### Judul

Proses Pembelahan Mitosis dan Meiosis

#### Tujuan

Untuk mengetahui perbedaan pembelahan mitosis dan meiosis.

#### Bahan dan Alat

- 1) benang berwarna
- 2) karton berwarna
- 3) spidol berwarna
- 4) dua buah karton lebar berwarna putih
- 5) gunting
- 6) lem atau *double tipe*

#### Cara Kerja

- 1) Gambarlah fase-fase pembelahan mitosis di kertas putih menggunakan spidol (lihat Gambar 4.4 Pembelahan mitosis)
- 2) Buatlah gambar kromosom di karton berwarna sesuai dengan fase-fase di atas. Kemudian potong-potong.
- 3) Tempelkan kromosom dalam setiap fase di karton putih. Gunakan benang berwarna sebagai benang spindel.



- 4) Beri keterangan dengan kata-katamu sendiri.
- 5) Lakukan hal yang sama untuk pembelahan meiosis.

### Pertanyaan

- 1) Mengapa pada pembelahan meiosis, kromosom anakan setengah dari induknya?
- 2) Mengapa dalam meiosis terjadi pindah silang, sedangkan meiosis tidak?
- 3) Apa perbedaan yang mendasar antara mitosis dan meiosis?

Apa yang dapat disimpulkan? Diskusikan hasil kelompokmu dengan kelompok lain.

## D Proses Pembentukan Gamet pada Hewan Tingkat Tinggi dan Manusia

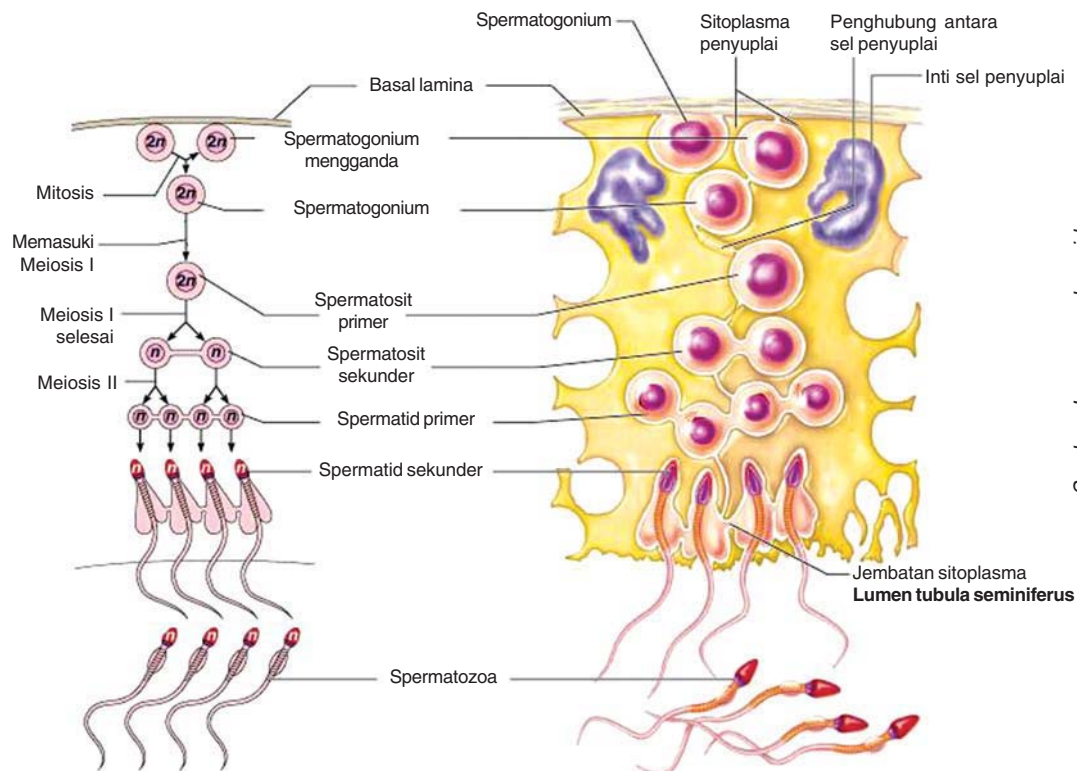
Pada hewan tingkat tinggi dan manusia terjadi proses pembentukan sel gamet pada jaringan organ reproduksinya. Pembentukan sel kelamin jantan atau sperma yang terjadi di dalam testis disebut *spermatogenesis*. Sedangkan, di dalam ovarium terjadi pembentukan sel kelamin betina atau ovum yang disebut *Oogenesis*. Spermatogenesis dan Oogenesis termasuk pembelahan meiosis, karena terjadi di jaringan organ reproduksi dan menghasilkan 4 sel anak yang haploid. Untuk lebih mengetahui tentang spermatogenesis dan oogenesis, mari cermati uraian berikut ini.

### 1. Spermatogenesis

Gamet jantan atau sperma dibentuk dalam kelenjar yang disebut testis. Testis berfungsi membentuk sperma dan androgen (hormon jantan). Sperma dibentuk dalam epitelium nutfah (*Seminiferus tubules*) yang terdapat dalam testis. Jaringan epitelium nutfah disusun oleh lapisan-lapisan sel yang memproduksi sperma yang tersusun berdasarkan urutan perkembangan spermatogenesis, mulai spermatogonium pada lapisan dasar sampai sperma pada lumen tubuh. Spermatogonium tidak langsung bermeiosis membentuk gamet, tetapi melakukan mitosis terlebih dahulu untuk memperbanyak spermatogonium, kemudian membelah secara meiosis.

Hasil pembelahan meiosis spermatogonium adalah spermatosit primer. Spermatosit primer mengalami meiosis I menjadi dua spermatosit sekunder, kemudian masing-masing spermatosit sekunder mengalami meiosis II, menjadi 4 spermatid yang sama besarnya dan jumlah kromosomnya haploid. Kemudian, sel spermatid akan berkembang menjadi

sperma atau spermatozoa. Dalam proses perkembangan ini, spermatid akan kehilangan hampir seluruh sitoplasmanya, tetapi sperma memperoleh organ berupa ekor yang berfungsi untuk bergerak dalam proses pembuahan sperma mengandung mitokondria yang menyediakan ATP sebagai sumber energi untuk bisa beberapa minggu atau bulan (pada manusia berlangsung 74 hari).



Sumber: Image.google.co.id

Gambar 4.8 Spermatogenesis

## 2. Oogenesis

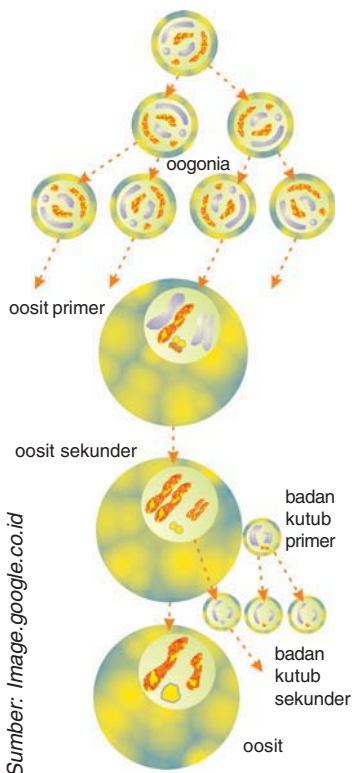
Pembentukan gamet betina atau oogenesis berlangsung di dalam ovarium organ kelamin betina. Gamet betina atau ovum dibentuk di dalam satu paket sel yang disebut folikel yang terdapat dalam ovarium. Folikel disusun oleh satu sel yang dapat bermeiosis disebut *oogonium* (sel induk ovum) yang mempunyai kromosom diploid. Oogonium ini dikelilingi satu lapis sel folikel yang akan melindungi dan memberi nutrisi sel telur yang dewasa. Oogonium (2n) akan bermitosis dan berkembang menjadi sel yang siap bermeiosis, disebut *oosit primer*. Oosit primer ini akan mengalami pembelahan meiosis I menjadi oosit sekunder dan badan kutub primer, kemudian pada akhir meiosis II, dari oosit sekunder dihasilkan satu sel oosit dan satu badan kutub sekunder. Sedangkan, dari badan kutub primer



Mari Berdiskusi

Diskusikan dengan teman sebangkumu.

Apa perbedaan proses pembentukan sperma dan ovum?



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 4.9**  
Oogenesis

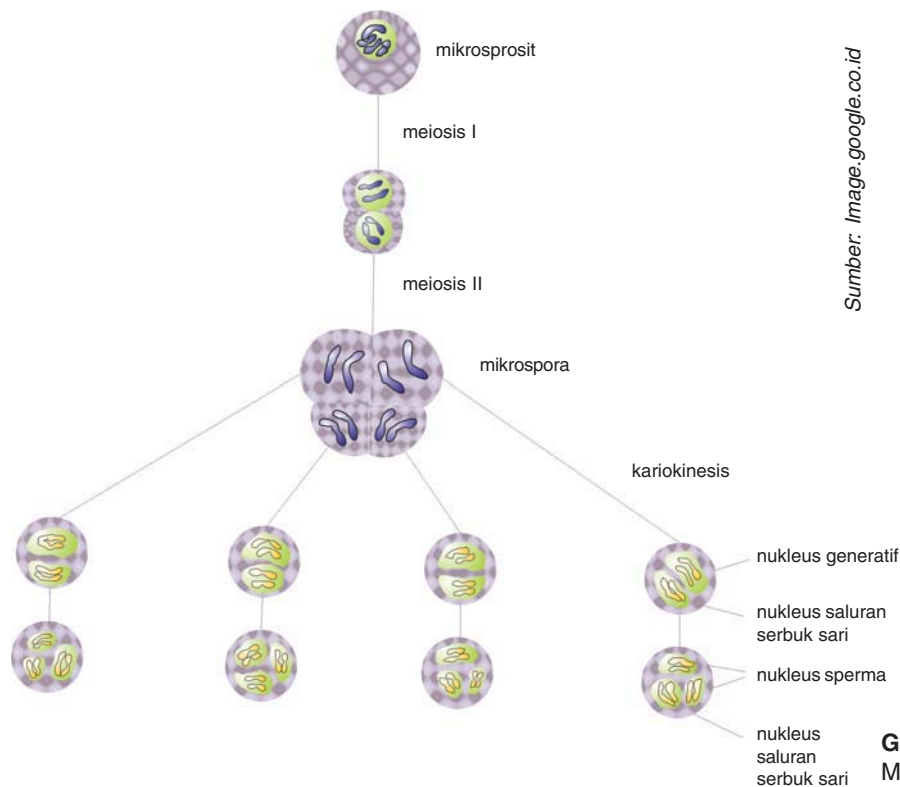
menghasilkan 2 badan kutub sekunder. Jadi, oosit primer mengalami pembelahan meiosis dan menghasilkan 1 ootid (sel telur) dan 3 badan kutub.

Dalam pembelahan meiosis I (oosit primer menjadi oosit sekunder) pembagian sitoplasma tidak sama sehingga menghasilkan satu sel besar yang disebut *oosit sekunder* dan satu sel kecil yang disebut *badan kutub primer*. Begitu pula pada saat meiosis II (oosit sekunder menjadi ootid). Oosit sekunder yang mengandung hampir semua sitoplasma dan kuning telur membelah secara tidak sama membentuk sebuah ootid besar dan sebuah badan kutub sekunder yang berukuran kecil. Pada saat bersamaan, badan kutub primer membelah menjadi 2 badan kutub sekunder. Selanjutnya, ootid akan mengalami pertumbuhan dan perkembangan menjadi sel telur yang masak, sedangkan 3 badan kutub sekunder akan hancur. Telur merupakan sel paling besar karena telur merupakan sumber persediaan makanan, ribosom, RNA, dan komponen sitoplasma lainnya untuk membantu perkembangan embrio.

## E Proses Pembentukan Gamet pada Tumbuhan Tingkat Tinggi

### 1. Mikrosporogenesis

Mikrosporogenesis adalah pembentukan gamet di dalam organ jantan bunga yang menghasilkan serbuk sari. Dalam kepala sari (*anther*) terdapat empat mikrosporangium. Setiap mikrosporangium mengandung mikrosporosit (diploid). Mikrosporosit ini mengalami pembelahan meiosis I dan meiosis II. Pembelahan meiosis ini menghasilkan empat mikrospora haploid dan berkelompok menjadi satu yang disebut *tetrad*. Inti sel setiap mikrospora mengalami pembelahan inti (kariokinesis) sehingga menghasilkan 2 nukleus haploid, yaitu nukleus saluran serbuk sari dan nukleus generatif. Setelah serbuk sari terbentuk, nukleus generatif mengalami pembelahan mitosis menghasilkan dua nukleus sperma, tetapi tidak diikuti sitokinesis. Jadi, satu serbuk sari yang masak mempunyai tiga nukleus haploid, yaitu satu nukleus vegetatif (saluran serbuk sari) dan dua nukleus generatif (sperma).



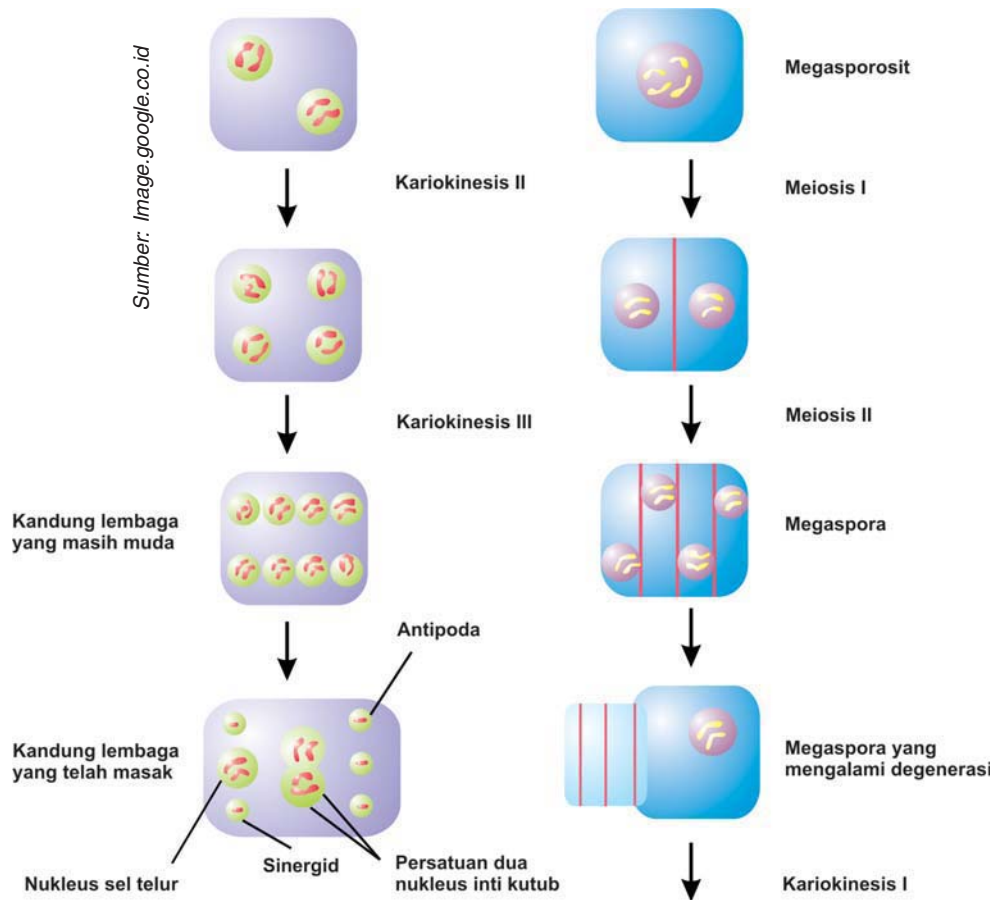
**Gambar 4.10**  
Mikrosporogenesis

## 2. Megasporogenesis

Megasporogenesis adalah pembentukan gamet betina di dalam bakal buah atau ovarium. Di dalam satu ovary (bakal buah) terdapat sel induk megaspora (megasporosit). Sel induk megaspora yang bersifat diploid akan bermeiosis menghasilkan empat sel haploid (tetrad). Dari keempat sel tersebut hanya satu yang hidup menjadi sel megaspora.

Sel megaspora ini, kemudian mengalami serangkaian mitosis menghasilkan delapan inti haploid. Delapan inti ini berada di dalam satu sel besar bernama kantung embrio (kandung lembaga muda) yang dilingkupi oleh kulit dan bagian ujungnya terdapat sebuah lubang kecil yang disebut *mikrofil*. Mikrofil berfungsi sebagai jalan masuk saluran serbuk sari ke dalam kandung lembaga. Tiga nukleus terletak di dekat mikrofil dan dua di antaranya sinergid (mati). Nukleus yang mengalami pertumbuhan dan perkembangan menjadi ovum (sel telur). Tiga nukleus yang lain terletak di seberang mikrofil yang disebut *antipoda*, selanjutnya akan mati pula karena degenerasi. Dua nukleus yang terletak di tengah akan bersatu di tengah kandung lembaga menjadi satu nukleus diploid ( $2n$ ) atau inti kandung lembaga sekunder.





**Gambar 4.11**  
Megasporogenesis



Kamu telah mempelajari reproduksi sel. Hal-hal penting apa sajakah yang harus diketahui dalam mempelajarinya? Catatlah dalam bentuk rangkuman. Tuliskan pula daftar istilah tentang reproduksi sel yang menurutmu sulit. Gunakanlah kamus biologi untuk mencari artinya. Kemudian, tukarlah hasil rangkumanmu dengan rangkuman teman. Berikan masukan dan saran pada rangkuman masing-masing.

## M a r i B e r k o m p e t e n s i

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat di setiap soal-soal berikut.

- Proses pembelahan mitosis berlangsung di ....
  - semua jaringan muda
  - sel-sel somatik tubuh, kecuali sel gonad
  - alat reproduksi
  - sel-sel gamet
  - jaringan tua
- Sintesis di dalam sel berlangsung pada fase ....
  - profase
  - metafase
  - anafase
  - interfase
  - telofase
- Pada waktu proses pembentukan sel-sel gamet, berlangsung pembelahan ....
  - biner
  - mitosis
  - meiosis
  - amitosis
  - biner dan mitosis
- Di dalam mikroskop tampak adanya pasangan-pasangan kromosom yang berada di daerah ekuator sel. Pada saat itu, sel berada dalam fase ....
  - metafase
  - anafase
  - telofase
  - profase
  - interfase
- Urutan peristiwa spermatogenesis adalah ....
  - spermatogonium → spermatis primer → spermatis sekunder → spermatid → sperma
  - spermatis primer → spermatogonium → spermatis sekunder → spermatid → sperma
  - spermatid → spermatis primer → spermatogonium → spermatid sekunder → sperma
  - spermatis sekunder → spermatis primer → spermatogonium → spermatid → sperma
- Pernyataan berikut menunjukkan perbedaan antara mitosis dan meiosis, kecuali ....
  - pada mitosis dihasilkan dua sel anak, pada meiosis dihasilkan empat sel anak
  - sel anak mitosis mempunyai  $2n$  kromosom, sedangkan sel anak meiosis mempunyai  $n$  kromosom
  - sel anak mitosis identik dengan sel induk, sedangkan sel anak meiosis tidak identik dengan sel induk
  - mitosis terjadi di sel somatik, meiosis di organ reproduksi
  - sel anak mitosis mempunyai sitoplasma, sedangkan sel anak meiosis tidak mempunyai sitoplasma
- Urutan peristiwa oogenesis adalah ....
  - oosit primer → oogonium → oosit sekunder dan badan kutub pertama → ootid dan badan kutub kedua → sel ovum
  - oogonium → oosit primer → oosit sekunder dan badan kutub pertama → ootid dan badan kutub kedua → sel ovum
  - oosit primer → oosit sekunder dan badan kutub pertama → oogonium → ootid dan badan kutub kedua → sel ovum
  - oosit primer → oosit sekunder → oogonium dan badan kutub pertama → ootid dan badan kutub kedua → sel ovum
  - sel induk makrospora → tetrad → inti vegetatif

8. Urutan peristiwa mikrosporogenesis adalah ....
  - a. mikrospora → sel induk mikrospora → inti vegetatif (inti sel tabung) dan dua inti generatif (inti sperma)
  - b. sel induk mikrospora → mikrospora (tetrad) → inti vegetatif (inti sel tabung) dan dua inti generatif (inti sperma)
  - c. inti vegetatif → inti generatif → sel induk mikrospora → mikrospora
  - d. sel induk mikrospora → inti vegetatif → inti generatif → tetrad
  - e. sel induk mikrospora → tetrad → inti vegetatif
9. Sintesis materi genetik terjadi pada fase ....
  - a. profase
  - b. metafase
  - c. anafase
  - d. telofase
  - e. interfase
10. Pada pembelahan mitosis terjadi penebalan kromatin menjadi kromosom sehingga bisa diindra. Hal ini terjadi pada fase ....
  - a. anafase
  - b. metafase
  - c. profase
  - d. telofase
  - e. sitokinesis
11. Pada profase pembelahan meiosis, kromosom mulai berpasangan dengan kromosom homolognya. Hal ini terjadi pada ....
  - a. leptoten
  - b. zigoten
  - c. pakiten
  - d. diploten
  - e. diakinesis
12. Pindah silang terjadi pada fase ....
  - a. leptoten
  - b. zigoten
  - c. pakiten
  - d. diploten
  - e. diakinesis
13. Pada sel bakteri terjadi pembelahan ....
  - a. mitosis
  - b. meiosis
  - c. biner
  - d. biner dan meiosis
  - e. mitosis dan meiosis
14. Spermatogenesis terjadi di ....
  - a. testis
  - b. vas deferens
  - c. ovarium
  - d. ampula
  - e. kelenjar cowper
15. Tempat masuknya serbuk sari ke dalam kantung lembaga disebut ....
  - a. sinergid
  - b. mikrofil
  - c. tetrad
  - d. megaspora
  - e. oosit

**B. Jawablah soal-soal berikut dengan singkat dan jelas.**

1. Jelaskan tahap-tahap pembelahan mitosis.
2. Jelaskan pembelahan meiosis dengan skema atau gambar.
3. Jelaskan persamaan dan perbedaan antara mitosis dan meiosis.
4. Jelaskan perbedaan antara spermatogenesis dan oogenesis.
5. Jelaskan perbedaan antara mikrosporogenesis dan megasporogenesis.

Peta Konsep





Pernahkah kamu melihat mawar berwarna merah muda? Mawar ini diperoleh dari persilangan antara mawar berwarna merah dengan mawar putih. Bagaimana hal ini bisa terjadi?

Hal ini berhubungan dengan genotip. Genotip adalah sifat yang ditentukan oleh gen. Genotip diwariskan dari orang tua kepada keturunannya. Tetapi, genotip tidak akan tampak tanpa lingkungan yang mendukung. Sifat yang tampak dari luar disebut fenotip. Fenotip merupakan perpaduan antara genotip dengan lingkungannya. Pewarisan sifat dari induk kepada turunannya disebut *hereditas*. Bahan genetik atau gen dapat mengalami perubahan yang disebut *mutasi*. Mutasi akan menyebabkan perubahan fenotip individu sehingga terjadi keanekaragaman makhluk hidup. Setelah kamu mempelajari bab ini, kamu akan mengetahui tentang pola-pola hereditas dan bagaimana proses terjadinya mutasi. Mari ikuti pembahasan berikut ini.

## A Pengertian Hereditas

Hereditas adalah penurunan sifat dari induk kepada keturunannya. Keturunan yang dihasilkan dari perkawinan antar individu mempunyai perbandingan fenotip maupun genotip yang mengikuti aturan tertentu. Aturan-aturan dalam pewarisan sifat ini disebut *pola-pola hereditas*.

Teori pertama tentang sistem pewarisan yang dapat diterima kebenarannya dikemukakan oleh **Gregor Mendel** pada 1865. Teori ini diajukan berdasarkan penelitian persilangan berbagai varietas kacang kapri (*Pisum sativum*). Hasil percobaannya, ditulis dalam makalah yang berjudul *Experiment in Plant Hybridization*. Dalam makalah tersebut, Mendel mengemukakan beberapa hipotesis mengenai pewarisan material genetik dari tetua kepada anaknya, di antaranya adalah *Hukum Segregasi* dan *Hukum Perpaduan Bebas*. Hukum Segregasi atau Hukum Mendel I menyatakan bahwa dalam pembentukan sel gamet, pasangan alel akan memisah secara bebas. Sedangkan, Hukum Perpaduan Bebas atau Hukum Mendel II menyatakan bahwa alel dari lokus satu akan berpadu secara bebas dengan alel-alel dari lokus lainnya.



Gambar 5.1  
Gregor Mendel

Sumber: Encarta Library 2005

## B Hukum Mendel

Orang yang pertama kali melakukan percobaan tentang pewarisan sifat adalah **Gregor Mendel**. Dia menyilangkan kacang kapri (*pisum sativum*) dengan memperhatikan satu sifat beda yang mencolok, seperti kapri berbunga merah disilangkan dengan kapri berbunga putih, kapri berbiji bulat disilangkan dengan kapri berbiji keriput. Berdasarkan penelitian ini, Mendel merumuskan Hukum Mendel I dan Mendel II. Mari cermati uraian berikut ini.

## 1. Percobaan Monohibrid dan Hukum Mendel I

Pada percobaan monohibrid untuk tujuh sifat yang diamati pada tanaman kapri, Mendel memperoleh hasil seperti yang disajikan pada Tabel 5.1 dan 5.2. Pada seluruh tanaman  $F_1$ , hanya ciri sifat dari salah satu tetuanya yang muncul, sedangkan ciri sifat dari tetua yang lain tidak muncul. Sifat yang muncul pada  $F_1$ , misalnya biji bundar disebut *sifat dominan*. Sedangkan, sifat yang tidak muncul, misalnya biji keriput disebut *sifat resesif*.

Pada generasi  $F_2$ , ciri-ciri yang dipunyai kedua tetua muncul kembali, misalnya biji bundar dan biji keriput. Dari percobaan Mendel untuk seluruh sifat yang diamati pada  $F_2$ , terdapat perbandingan yang mendekati 3 : 1, antara ciri dominan dan resesif.

**Tabel 5.1.** Data Persilangan dan  $F_1$  Percobaan Mendel

Sifat	Persilangan	Tanaman $F_1$
Bentuk biji	bundar >> keriput	100 % bundar
Warna albumen	kuning >> hijau	100 % kuning
Warna bunga	merah-ungu >> putih	100 % merah-ungu
Bentuk polong	gembung >> berkerut	100 % gembung
Warna polong	hijau >> kuning	100 % hijau
Kedudukan bunga	aksial >> terminal	100 % aksial
Tinggi tanaman	tinggi >> pendek	100 % tinggi

**Tabel 5.2.** Data  $F_2$  Percobaan Mendel

Sifat	Dominan	Resesif	Perbandingan
Bentuk biji	5474 bundar	1850 keriput	2.96 : 1
Warna albumen	6022 kuning	2001 hijau	3.01 : 1
Warna bunga	705 merah-ungu	224 putih	3.15 : 1
Bentuk polong	882 gembung	299 berkerut	2.95 : 1
Warna polong	428 hijau	152 kuning	2.85 : 1
Kedudukan bunga	451 aksial	207 terminal	3.14 : 1
Tinggi tanaman	787 tinggi	277 pendek	2.84 : 1

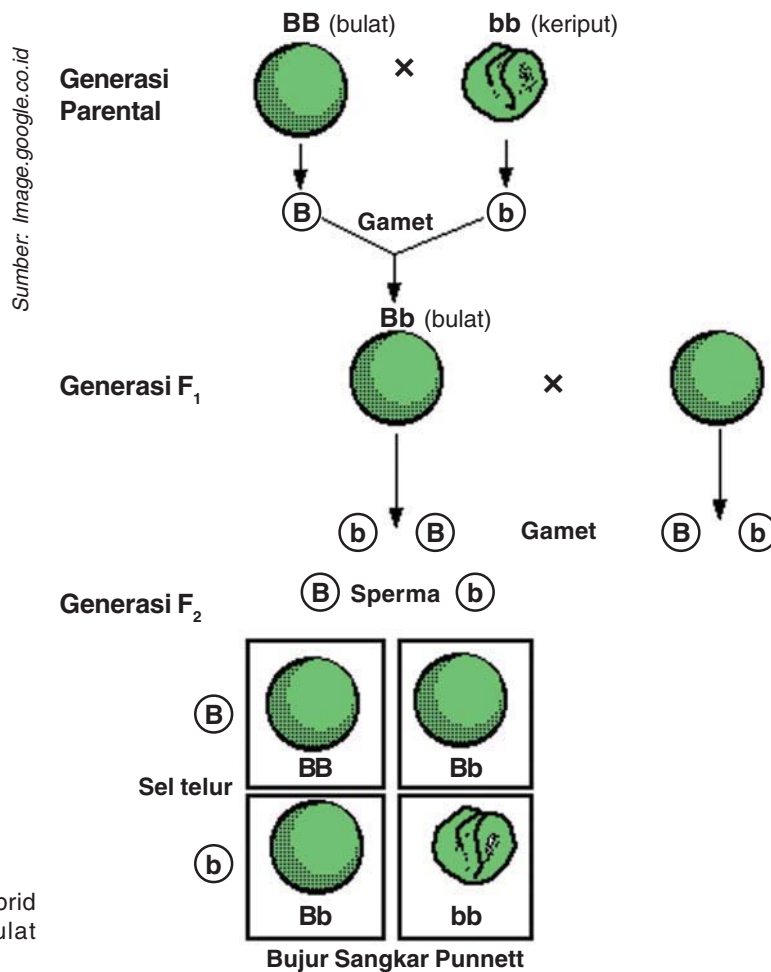
Dari percobaan tersebut, Mendel menyimpulkan bahwa pada saat pembentukan gamet, terjadi pemisahan bebas pasangan gen-gen yang dikandung oleh induk (parental) sehingga setiap gamet memperoleh satu gen dari alelnya. Misalnya, induk Bb ( $F_1$ ) menghasilkan gamet B dan b. Hal ini dikenal sebagai Hukum Segregasi atau Hukum Mendel I. Kemudian, terjadi perkawinan antara induk jantan dan betina. Hal ini menyebabkan gamet B dan b bergabung secara acak. Sehingga, dihasilkan  $F_2$  dengan perbandingan fenotif 3 : 1. Untuk lebih memahami hukum Mendel I, mari cermati percobaan monohibrid berikut ini.



Mengapa Mendel menggunakan kacang kapri (*Pisum Sativum*) sebagai objek penelitian? Diskusikan dengan teman sebangkumu.



Apa perbedaan antara generasi  $F_1$  dan  $F_2$ ? Diskusikan dengan teman sebangkumu.

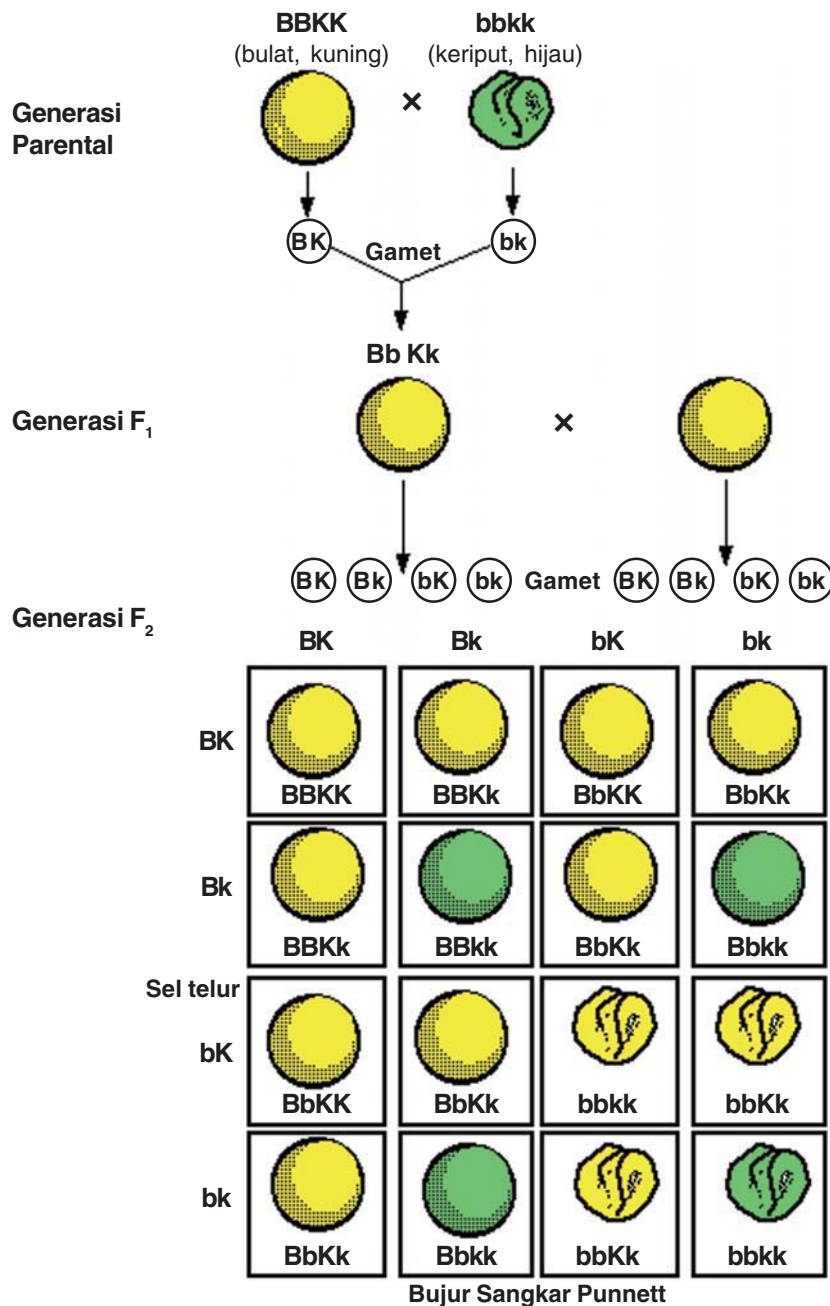


**Gambar 5.2**  
 Hasil percobaan monohibrid Mendel, antara biji bulat dengan biji keriput

## 2. Percobaan Dihibrid dan Hukum Mendel II

Percobaan Mendel yang melibatkan dua sifat sekaligus disebut percobaan *dihybrid*. Dari percobaan ini, dapat disimpulkan bahwa dalam proses pembentukan gamet, setiap pasang alel dalam satu lokus bersegregasi bebas dengan pasangan alel lokus lainnya, dan akan berpadu secara bebas dengan alel dari lokus lainnya. Hukum perpaduan bebas ini dirumuskan dari hasil observasi terhadap penyebaran fenotip  $F_2$  persilangan dihibrid. Pada  $F_2$ , Mendel memperoleh perbandingan fenotip 9 : 3 : 3 : 1.

Misalnya, persilangan dengan dua sifat beda antara biji bundar kuning dengan keriput hijau. Pada  $F_1$  diperoleh biji bundar kuning. Hal ini terjadi, karena setiap gen dapat berpasangan secara bebas. Artinya, biji bundar dominan terhadap keriput, dan kuning dominan terhadap hijau. Persilangan antara  $F_1$  menghasilkan keturunan  $F_2$  dengan perbandingan fenotip antara bulat kuning : keriput kuning : bulat hijau : keriput hijau = 9 : 3 : 3 : 1. Untuk lebih memahami, mari cermati Gambar 5.3 berikut ini.



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 5.3**  
 Persilangan Dihibrid Mendel yang menghasilkan Hukum Perpaduan Bebas

Nisbah genotip maupun fenotip yang dihasilkan oleh Mendel akan terpenuhi jika setiap sifat hanya ditentukan oleh alel dalam satu lokus. Alel dalam setiap lokus bersegregasi bebas dengan lokus lain, dan gen-gen terdapat pada inti.

Pada kasus-kasus tertentu, perbandingan fenotip 9 : 3 : 3 : 1 tidak dipenuhi, tetapi menghasilkan perbandingan fenotip yang berbeda, misalnya 9 : 3 : 4, 15 : 1, atau 12 : 3 : 1. Munculnya perbandingan yang tidak sesuai ini disebut *penyimpangan semu hukum Mendel*.

## C Penyimpangan Semu Hukum Mendel





Mengapa perbandingan fenotif 9 : 3 : 4, 15 : 1 dan 12 : 3 : 1 disebut penyimpangan semu hukum Mendel? Diskusikan dengan teman sebangkumu.

## 1. Kriptomeri

Kriptomeri merupakan interaksi komplementasi yang terjadi, karena munculnya hasil ekspresi suatu gen yang memerlukan kehadiran alel tertentu pada lokus lain. Contoh interaksi komplementasi ini, terjadi pada proses pembentukan warna bunga *Linaria maroccana*. Warna bunga ditentukan oleh kandungan antosianin dan keadaan pH sel. Kandungan antosianin pada bunga ditentukan oleh satu gen yang mempunyai dua alel dominan resesif (Misal A dan a).

Tanaman akan mengandung antosianin apabila mempunyai alel dominan A. Gen pada lokus lain dapat menghasilkan senyawa yang menyebabkan sel berlingkungan asam atau basa. Lingkungan asam basa sel ini dikendalikan oleh sepasang alel dominan resesif pula (misalnya alel B dan b). Alel dominan B menyebabkan sitoplasma bersifat basa, sedangkan alel resesif b membuat sitoplasma bersifat asam.

Pada bunga *Linaria maroccana* terdapat tiga warna bunga yaitu merah, putih, dan ungu. Jika bunga *Linaria maroccana* berbunga merah galur murni disilangkan dengan bunga putih galur murni, maka akan diperoleh  $F_1$  yang semuanya berbunga ungu. Jika sesama  $F_1$  disilangkan, maka akan menghasilkan fenotip dengan perbandingan bunga ungu : merah : putih = 9 : 3 : 4

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

Tabel 5.3. Kemungkinan Kombinasi Aa Bb >< Aa Bb

♂ \ ♀	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 ungu	aabb merah

Diagram persilangan di atas menunjukkan perbandingan 9 : 3 : 4

Dari hasil penyilangan di atas, dapat disimpulkan bahwa:

- Fenotip warna bunga ungu memiliki pigmen antosianin dalam lingkungan basa dengan genotip A-B-.
- Fenotip warna bunga merah memiliki pigmen antosianin dalam lingkungan asam dengan genotip A-bb.

- c) Fenotip warna bunga putih tidak memiliki pigmen antosianin dengan genotip aabb.

## 2. Polimeri

Polimeri terjadi karena dua gen memproduksi bahan yang sama dan menghasilkan fenotip yang sama. Contohnya adalah sifat warna merah pada gandum. Warna merah tersebut dikendalikan oleh pasangan alel dominan resesif yang terdapat pada dua gen yang berbeda lokus. Warna merah akan muncul apabila terdapat alel dominan di salah satu atau kedua lokus. Misalnya, pasangan alel penghasil warna merah pada gambar adalah  $M_1$  dan  $m_1$ , sedangkan pada lokus lain juga terdapat pasangan alel  $M_2$  dan  $m_2$ . Jika gandum berkulit merah (homozigot dominan) disilangkan dengan gandum berkulit putih (homozigot resesif), maka akan menghasilkan fenotip gandum berkulit merah semua. Bila  $F_1$  disilangkan sesamanya, akan dihasilkan gandum berkulit merah : berkulit putih = 15 : 1.

Tetua (P) :  $M_1M_1M_2M_2$  ><  $m_1m_1m_2m_2$   
 (merah) (putih)

Gamet :  $M_1M_2$  ,  $m_1m_2$

F1 :  $M_1m_1 M_2m_2$

Gamet :  $M_1M_2, M_1m_2, m_1M_2, m_1m_2$

Kemungkinan persilangan:

Tabel 5.4. Kemungkinan Persilangan Dua Sifat Beda

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

Dari tabel persilangan di atas dapat disimpulkan bahwa dua pasang alel yang berlainan mempengaruhi sifat yang sama, yaitu warna bunga. Pengaruh gen-gen yang mengendalikan warna merah ( $M_1$  dan  $M_2$ ) bersifat kumulatif, artinya makin banyak jumlah gen, pengaruhnya makin jelas.



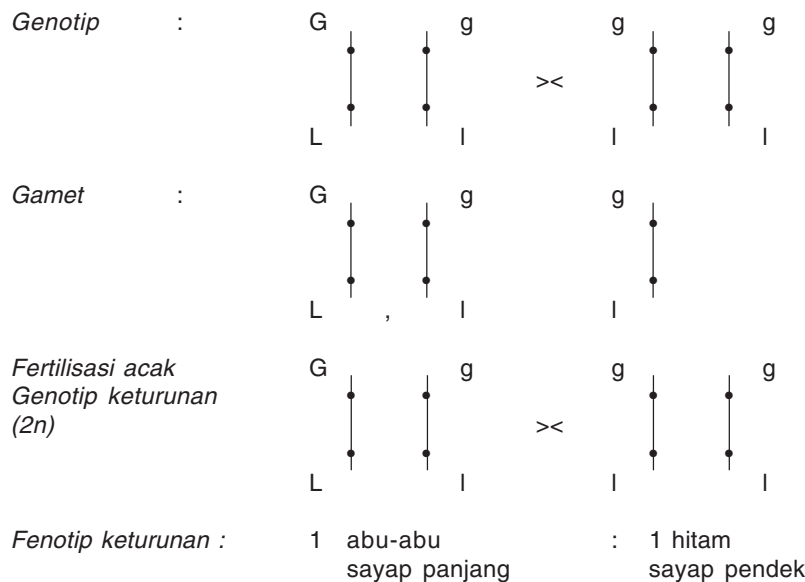
## 1. Pautan

Pada proses meiosis I, saat kromosom bermigrasi ke kutub yang berlawanan, gen-gen yang terletak pada kromosom yang sama akan berpautan dan bergerak bersama-sama ke arah kutub yang sama pula. Pautan antarlokus ini terjadi akibat lokus gen-gen terletak pada satu kromosom dan berjarak dekat antara satu dengan yang lainnya. Jumlah pautan ini sesuai dengan jumlah pasangan kromosom dan panjangnya kromosom. Gen-gen yang berhimpit dan berdekatan lokusnya cenderung berpautan.

Penyimpangan terhadap Hukum Perpaduan Bebas dapat disebabkan karena keterpautan antarlokus. Hal ini berarti segregasi alel pada suatu lokus berpengaruh terhadap segregasi alel pada lokus yang lain.

Jika 4 alela terletak pada pasangan kromosom yang sama.

Fenotip tetua: abu-abu, sayap panjang >> hitam, sayap pendek



## D Pautan, Pindah Silang, dan Gagal Berpisah

**Diagram 5.1**  
Fertilisasi tanpa pindah silang

## 2. Pindah Silang

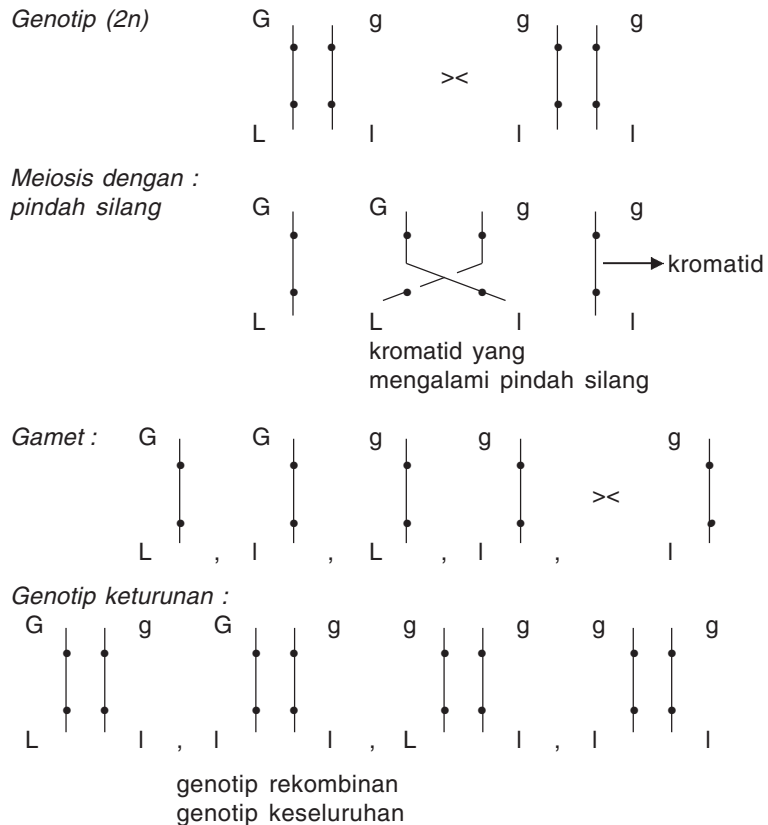
Pindah silang adalah pertukaran segmen antara dua kromosom homolog. Peristiwa ini berlangsung pada saat kromosom homolog berpasangan dalam profase I meiosis, yaitu pada saat pakiten. Pakiten merupakan saat seluruh bagian kromosom berpasangan pada jarak yang paling dekat. Titik kontak dari kromosom-kromosom yang bersentuhan dinamakan *kiasma*. Pindah silang akan menghasilkan kromosom rekombinan yang merupakan hasil penyeberangan fragmen-fragmen kromosom ke kromosom homolog tetangganya. Pautan gen dapat dipisahkan oleh peristiwa pindah silang pada semua titik sepanjang kromosom.



**Diagram 5.2**  
Fertilisasi didahului peristiwa pindah silang

Jika terjadi pindah silang.

Fenotip tetua: abu-abu sayap panjang >< hitam sayap pendek



Dalam suatu eksperimen diperoleh keturunan sebagai berikut.

*Fenotip tetua* berbadan abu-abu sayap panjang : 965  
berbadan hitam sayap pendek : 944

*Fenotip rekombinan* berbadan hitam sayap panjang : 206  
berbadan abu-abu sayap pendek : 185

Kemungkinan pindah silang dan rekombinasi kromosom berbanding lurus dengan jarak antara dua gen yang terpisah. Misalnya jarak antara gen O dan P tiga kali lipat jarak antara gen R dan S. Hal ini berarti, pemisahan pautan antara gen O dan P melalui pindah silang tiga kali lebih besar daripada pindah silang antara gen R dan S. Jadi semakin jauh jarak antargen yang memperbesar kemungkinan pindah silang. Frekuensi pindah silang dapat dihitung sebagai berikut:



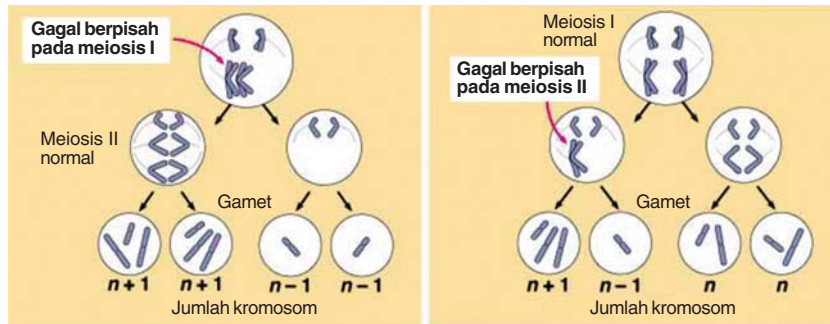
Diskusikan dengan teman sekelompokmu.

Apa perbedaan antara pautan dan pindah silang dilihat dari segi frekuensi dan proses kejadiannya?

$$\begin{aligned}
 \text{Frekuensi Rekombinasi (FR)} &= \\
 &= \frac{\text{Jumlah keturunan rekombinan}}{\text{seluruh keturunan}} \times 100 \% \\
 &= \frac{(206 + 185)}{(965 + 944) + (206 + 185)} \times 100 \% \\
 &= \frac{391}{2300} \times 100 \% \\
 &= 17 \%
 \end{aligned}$$

### 3. Gagal Berpisah

Pada saat pembentukan gamet (pembelahan meiosis), kromosom dapat mengalami gagal berpisah sehingga jumlah kromosom menjadi berubah. Kromosom dapat gagal berpisah dengan kromosom homolognya pada saat meiosis I. Selain itu, kromatid dalam satu kromosom juga dapat gagal berpisah pada saat meiosis II. Perbedaan kedua peristiwa gagal berpisah tersebut dapat digambarkan sebagai berikut.



Sumber: Image.google.co.id

Gambar 5.4 Gagal berpisah



Diskusikan dengan teman sekelompokmu.

Apa perbedaan peristiwa gagal berpisah pada meiosis I dan meiosis II? Apa akibat yang ditimbulkan gagal berpisah pada individu yang mengalaminya?

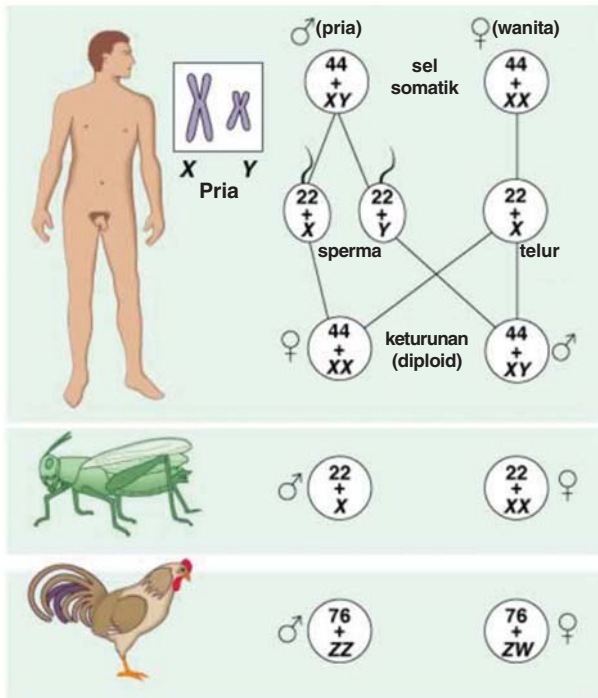
Gagal berpisah dapat mengakibatkan gamet atau individu yang baru lahir mempunyai kelainan jumlah kromosom. Contoh akibat gagal berpisah adalah aneuploidi dan poliploidi. Aneuploidi adalah individu yang memiliki kekurangan atau kelebihan satu kromosom dari kromosom tetuanya. Aneuploidi mengakibatkan perubahan fenotip pada individu, misalnya individu yang mempunyai kromosom monosomi ( $2n - 1$ ) atau trisomi ( $2n + 1$ ). Sedangkan, poliploidi adalah individu yang mempunyai kelipatan jumlah kromosom tetuanya. Poliploidi misalnya gamet diploid bertemu dengan gamet haploid menjadi triploid ( $3n$ ), atau dua gamet diploid bersatu membentuk individu tetraploid.

Hampir semua makhluk hidup mempunyai pemisahan jenis seks jantan atau betina yang berarti satu organisme hanya membawa satu jenis organ seks. Jenis kelamin makhluk hidup ditentukan oleh kromosom seks, tingkat ploidi, dan lingkungan. Mari cermati uraian berikut ini.

### 1. Kromosom Seks

Pada hewan tingkat tinggi terdapat dua sistem penentuan jenis seks dengan kromosom, yaitu heterogametik jantan dan heterogametik betina. Heterogametik ialah dalam satu individu terdapat dua jenis kromosom seks yang berbeda. Sedangkan, homogametik berarti suatu individu mempunyai dua kromosom seks yang sama. Pada sistem heterogametik jantan, kromosom

## E Penentuan Jenis Kelamin



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 5.5** sistem penentuan seks berdasarkan kromosom, manusia dan belalang mempunyai sistem heterogametik jantan dan pada unggas dengan sistem heterogametik betina

seks diberi tanda dengan X dan Y, sedangkan pada heterogametik betina diberi tanda dengan Z dan W.

Pada homogametik, organisme betina akan mengandung dua kromosom seks yang sama, yaitu XX, sedangkan individu jantan akan membawa dua kromosom yang berbeda, yaitu XY atau hanya satu kromosom X (XO). Organisme betina yang mempunyai kromosom XX, misalnya manusia, belalang, dan *Drosophila melanogaster*. Contoh organisme yang mempunyai jantan XY adalah *Drosophila melanogaster* dan manusia, sedangkan belalang jantan adalah XO.

Golongan hewan unggas, ngengat dan kupu-kupu memiliki sistem heterogametik betina, yaitu betina berkromosom ZW. Sedangkan, jantan memiliki kromosom ZZ.

## 2. Tingkat Ploid

Pada insekta ordo *Hymenoptera* termasuk di dalamnya lebah dan semut. Perbedaan jantan dan betina ditentukan oleh perbedaan tingkat ploid. Lebah jantan memiliki jumlah kromosom haploid, sedangkan yang betina diploid. Lebah betina berasal dari sel telur yang dibuahi, sedangkan sel telur yang tidak dibuahi akan berkembang menjadi lebah jantan. Lebah jantan membentuk gamet melalui proses mitosis, sedangkan yang betina melalui meiosis.

## 3. Lingkungan

Semua organisme mempunyai gen yang diperlukan untuk membentuk sistem reproduksi jantan maupun betina. Salah satu contoh tentang keluwesan perkembangan seks ini terdapat pada cacing laut *Bonellia viridis*. *Bonellia* betina mempunyai badan seperti kacang dengan *proboscis* yang ramping panjang sekitar satu inci. Cacing jantan bertubuh lebih kecil sebesar protozoa hidup sebagai parasit pada saluran reproduksi betina. Saat reproduksi, telur yang telah dibuahi dilepas ke air dan berkembang menjadi larva yang dapat berenang dengan bebas. Larva-larva berada di sekitar *Bonellia* dewasa dan dirangsang untuk menempel pada *proboscis* betina terdekat. Larva-larva yang bersentuhan dengan *proboscis* berkembang menjadi cacing



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 5.6** *Bonellia viridis*

jantan dan kemudian bergerak masuk ke dalam uterus betina. Sedangkan, larva-larva yang lain akan membenamkan diri dalam pasir dan berkembang menjadi cacing betina dewasa.

Ada suatu sifat individu yang khas dan hanya dimiliki oleh betina saja atau jantan saja. Hal ini terjadi karena gen-gen terpaut pada kromosom seks X atau Y. Peristiwa ini dinamakan *pautan seks*. Pautan seks menunjukkan adanya pewarisan sifat oleh gen yang terdapat pada kromosom seks. Mari cermati uraian berikut ini:

## F Pautan Seks

### 1. Warna Mata pada *Drosophila melanogaster*

Morgan (1910) menunjukkan dengan jelas keterkaitan gen pengendali warna mata pada lalat buah (*Drosophila melanogaster*) dengan segregasi kromosom seks. Pada pembastaran lalat jantan bermata putih dengan lalat betina bermata merah, pada keturunan  $F_1$  semua bermata merah. Jadi, sifat mata putih bersifat resesif karena tidak muncul pada  $F_1$ . Ketika dibastarkan  $F_1$  dengan sesamanya, warna mata putih tidak ada pada betina, tetapi hanya pada jantan. Dari hasil ini, Morgan menyimpulkan bahwa alel pengendali warna merah dominan terhadap alel warna putih dan alel-alel tersebut hanya terdapat pada kromosom X, tidak ada pada kromosom Y.

Fenotip Tetua	: betina mata merah	><	jantan mata putih
Genotip Tetua	: $X^M X^m$	><	$X^m Y$
Meiosis			
Gamet	: $X^M$ , $X^m$ , y		
Fertilisasi			
Genotip $F_1$	: $X^M X^m$	dan	$X^m Y$
Fenotip	: (♀ mata merah)		(♂ mata merah)
Gamet	: $X^M$ , $X^m$ , >< $X^m$ , Y		
Fertilisasi			
Genotip $F_2$	: $X^M X^M$	$X^M Y$	$X^M X^m$ $X^m Y$
Fenotip	: ♀ merah,	♂ merah,	♀ merah,      ♂ putih

**Diagram 5.3**  
Pautan seks sifat warna mata pada lalat buah

### 2. Hemofilia

Hemofilia merupakan penyakit terpaut seks yang muncul dalam keadaan resesif. Orang yang menderita hemofilia tidak dapat membentuk faktor pembeku darah. Gen pengontrol faktor pembeku darah ada pada kromosom X dan dalam bentuk dua alel yaitu  $X^H$  (dominan) dan  $X^h$  (resesif). Kemungkinan genotip dan fenotip adalah sebagai berikut:



Coba kamu cari informasi di literatur tentang penyakit hemofili. Diskusikan dengan guru dan teman.



Genotip	Fenotip
$X^H X^H$	Wanita normal
$X^H X^h$	Wanita normal pembawa sifat
$X^H Y$	Pria normal
$X^h Y$	Pria hemofili

Semua wanita yang bergenotip heterozigot adalah pembawa sifat. Jika wanita tersebut menikah dengan pria normal, maka ada kemungkinan anak laki-laki dari keturunannya menderita hemofilia. Hal ini dapat digambarkan sebagai berikut:

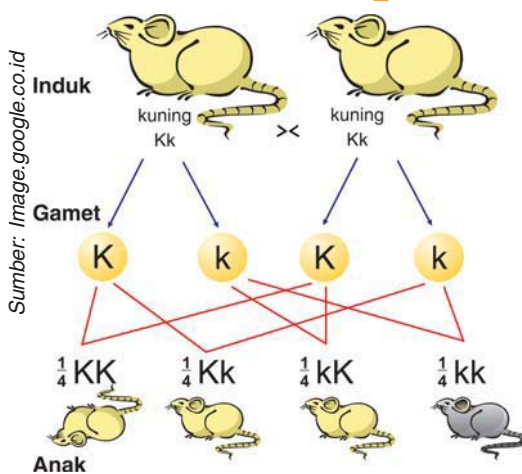
**Diagram 5.4**  
Perkawinan antara wanita normal dengan pria carrier

Fenotip Tetua	: Wanita normal	><	Pria normal (pembawa sifat)	
Genotip Tetua (2n)	: $X^H X^h$	><	$X^H Y$	
Meiosis				
Gamet (n)	: $X^H, X^h$	><	$X^H Y$	
Genotip keturunan (2n)	: $X^H X^H$	$X^H Y$	$X^H X^h$	$X^h Y$
Fenotip keturunan	: wanita normal	pria normal	wanita normal pembawa sifat	pria hemofilia

## G Gen Letal

Gen yang dapat menimbulkan kematian suatu individu disebut gen letal. Kematian dapat terjadi baik pada awal perkembangan individu, embrio, setelah lahir, atau menjelang dewasa. Gen letal dibedakan menjadi dua, yaitu letal dominan dan letal resesif. Untuk lebih mengetahui, mari cermati uraian berikut ini.

### 1. Letal Dominan



**Gambar 5.7**  
Gen letal pada tikus berambut kuning

Pada letal dominan, individu akan mati apabila memiliki gen homozigot dominan. Contoh gen letal terdapat pada gen yang menyebabkan tikus berambut kuning homozigot dominan (KK) mati sebelum lahir. Kematian sebelum lahir akan mengubah perbandingan jumlah fenotip keturunan.

Jika tikus berambut kuning heterozigot (Kk) dikawinkan dengan tikus kuning heterozigot pula, maka akan menghasilkan keturunan lebih sedikit atau 25% lebih kecil dari jumlah keturunan berambut kuning dengan berambut tidak kuning. Diagram persilangannya dapat digambarkan sebagai berikut

<i>Fenotip Tetua</i> :	Berambut kuning	><	Berambut kuning
<i>Genotip (2n)</i> :	Kk	><	Kk
<i>Meiosis</i>			
<i>Gamet (n)</i> :	K, k	><	K, k
<i>Fertilisasi acak</i> :			
<i>Genotip keturunan</i> :	KK		Kk, Kk
	1 berambut kuning mati sebelum lahir		2 berambut kuning hidup
			kk 1 berambut tidak kuning hidup

**Diagram 5.5**  
Gen letal dominan pada tikus berambut kuning

## 2. Letal Resesif

Pada letal resesif, individu akan mati jika mempunyai gen homozigot resesif, contohnya tumbuhan albino dan ekor pendek mencit. Tumbuhan albino tidak mempunyai klorofil. Misalnya, klorofil dikendalikan oleh gen A, maka tumbuhan berklorofil memiliki gen AA, sedangkan tumbuhan albino memiliki gen aa. Tumbuhan albino muncul dari persilangan heterozigot Aa dengan Aa. Untuk lebih memahami, mari cermati diagram di bawah ini.

<i>Induk</i> :	Aa	><	Aa
	(kariyer)		(kariyer)
<i>Gamet (n)</i> :	A, a	><	A, a
<i>keturunan</i> :	1 AA	:	2 Aa
	normal		kariyer
			1 aa
			albino, mati

**Diagram 5.6**  
Gen letal resesif pada tumbuhan albino

Pada manusia terdapat gen letal, misalnya pada penderita sickleimia (eritrosit berbentuk bulan sabit) dan talasemia (eritrosit berbentuk lonjong, ukurannya kecil, dan jumlahnya lebih banyak).

Sifat-sifat manusia diturunkan kepada keturunannya mengikuti pola pewarisan tertentu. Hal ini dapat dipelajari dengan menggunakan peta silsilah keluarga. Sifat-sifat yang dapat diwariskan dari tetua kepada keturunannya, misalnya cacat (abnormalitas).

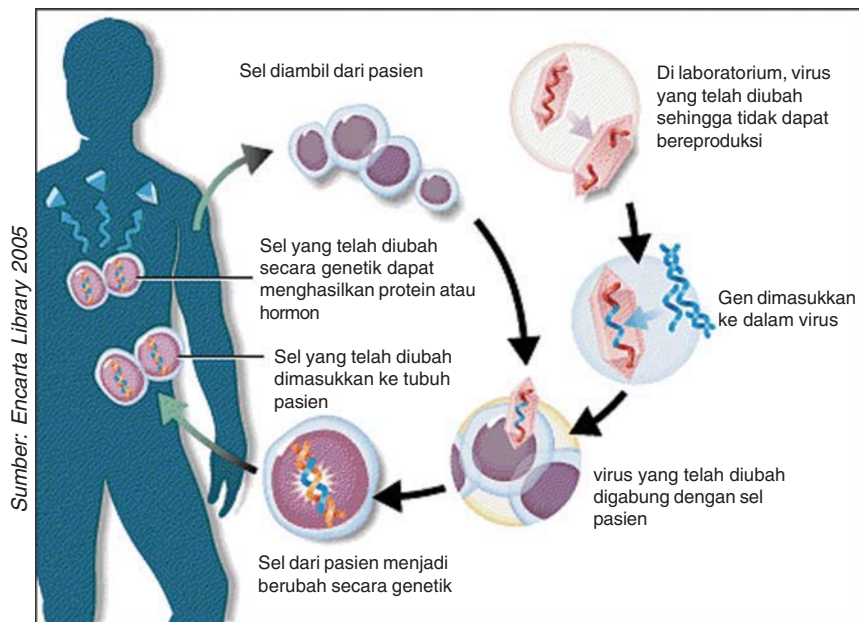
## 1. Cacat dan Penyakit Menurun

Pada umumnya, cacat atau penyakit menurun secara genetik bersifat relatif, sehingga muncul apabila genotipnya dalam keadaan homozigot. Cacat atau penyakit menurun ini tidak akan terjadi jika individu memiliki genotip heterozigot, karena gen yang membawanya tertutupi oleh gen pasangannya dominan. Cacat atau penyakit menurun tidak dapat

# H

## Hereditas pada Manusia

disembuhkan atau ditularkan karena kelainan ada pada bagian substansi hereditas yang disebut *gen*. Walaupun gangguan genetik ini tidak dapat disembuhkan, tetapi dalam beberapa hal konsekuensi fenotipnya dapat dibatasi. Tindakan penyembuhan dapat dilakukan dengan diet, penyesuaian lingkungan, pembedahan, kemoterapi, maupun rekayasa genetika.



**Gambar 5.8**  
Penyembuhan penyakit turunan dengan rekayasa genetika

Beberapa contoh penyakit keturunan adalah gangguan mental, cacat buta warna, dan albino. Untuk lebih mengetahui tentang penyakit turunan tersebut. Mari cermati uraian berikut ini.

**a. Gangguan mental**

Gangguan mental karena keturunan bermacam-macam jenis dan penyebabnya. Salah satu contohnya adalah fenilketonia (FKU) yang disebabkan oleh kegagalan tubuh mensintesis enzim yang mengubah fenilalanin menjadi tiroksin.

Di dalam darah penderita mengandung senyawa yang tinggi. Kandungan senyawa dari fenilalanin ini adalah asam fenilpiruvat yang dapat merusak sistem saraf sehingga menimbulkan gangguan mental.

Kelainan mental ini dikendalikan oleh gen yang mengatur pembentukan protein enzim. Penderita memiliki pasangan alel gen-gen relatif homozigot yang diwariskan oleh kedua orang tua heterozigot yang penampakannya normal. Misalnya, alel relatif yang bertanggung jawab terhadap cacat ini, dilambangkan dengan *a*, dan alel dominan pasangannya *A*, maka persilangannya sebagai berikut:

**Mari Berdiskusi**

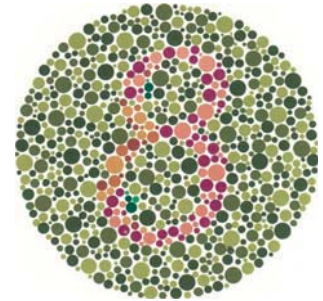
Diskusikan dengan teman sekelompokmu. Penyakit apa sajakah yang diturunkan secara genetik? Dapatkah penyakit tersebut disembuhkan?

Parental	:	Aa	><	Aa		
Genotip	:	A,a		A,a		
Keturunan	:	AA	,	Aa , Aa	,	aa
		Normal		pembawa sifat		gangguan mental
Fenotif	:	Penampakan norma	:	gangguan mental		
		3	:	1		

**Diagram 5.7**  
Perkawinan antara wanita dan pria yang normal heterozigot

**b. Cacat buta warna**

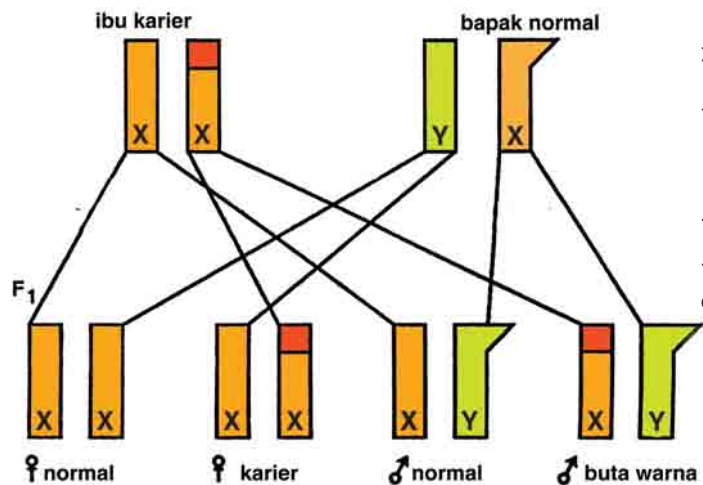
Cacat buta warna bermacam-macam, yaitu buta warna total dan buta warna sebagian. Penderita buta warna tidak dapat melihat warna tertentu, misalnya warna hijau, merah atau semua warna kecuali hitam putih. Yang paling umum adalah buta warna merah-hijau. Penderita buta warna ini tidak dapat membedakan warna merah dan hijau. Untuk mengetahui seseorang menderita buta warna merah-hijau atau tidak dapat menggunakan kartu uji penglihatan *ishihara*. Mari perhatikan Gambar 5.9.



Sumber: Image.google.co.id

Cacat ini diturunkan oleh kedua orang tuanya yang normal. Faktor gen buta warna terpaut pada kromosom sex X. Apabila dalam pasangan alel dengan kromosom X yang normal, maka cacat buta warna tidak akan terjadi, tetapi bila berpasangan dengan kromosom y, maka laki-laki akan menderita buta warna. Contoh persilangannya sebagai berikut.

**Gambar 5.9**  
Kartu uji penglihatan *ishihara*



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 5.10**  
Pewarisan cacat buta warna dari orang tua normal

Jadi, perkawinan antara wanita karier dengan laki-laki normal menghasilkan keturunan wanita dan laki-laki normal 150%, wanita karier 25%, dan laki-laki buta warna 25%.

**c. Albino**

Orang albino memiliki rambut, mata, bulu mata, dan kulit berwarna putih. Hal ini disebabkan karena penderita albino tidak memiliki pigmen warna melanin. Warna melanin ada





Mengapa penderita albino rentan terhadap kanker kulit dan tidak tahan sinar matahari? Adakah hubungannya dengan melanin? Diskusikan dengan teman sebangkumu.

yang hitam, cokelat, kuning atau putih. Penderita albino tidak memiliki pigmen ini karena tidak dapat menghasilkan enzim pembentuk melanin.

Gen albino bersifat resesif dan terletak pada autosom (kromosom tubuh) sehingga baik laki-laki maupun perempuan dapat menderita albino. Seseorang menderita albino jika gennya dalam keadaan homozigot resesif. Jadi, sifat tersebut di peroleh dari orang tuanya yang menderita albino atau karier.

Contoh persilangannya adalah sebagai berikut:

<i>Parental</i> :	Mm	><	mm	<i>Parental</i> :	Mm	><	Mm
<i>Gamet</i> :	M,m		m	<i>Gamet</i> :	M,m		Mm
<i>Keturunan</i> :	Mm	,	mm	<i>Keturunan</i> :	Mm	,	Mm , Mm , mm
	pembawa sifat		albino		Normal		pembawa sifat albino
<i>Fenotif</i> :	Penampakan norma	:	albino	<i>Fenotif</i> :	Penampakan norma	:	albino
	1	:	1		3	:	1

## 2. Pewarisan Golongan Darah pada Manusia

Golongan darah dapat diwariskan dari orang tua kepada turunannya. Golongan darah pada manusia dapat dibedakan menjadi 3 golongan, yaitu golongan darah ABO, golongan darah MN, dan Rhesus.

### a. Golongan darah ABO

Golongan darah manusia dapat ditentukan berdasarkan ada atau tidak adanya antigen (*aglutinogen*) dan antibodi (*aglutinin*). Untuk mengetahui golongan darah manusia, mari cermati Tabel 5.6 dan 5.7 di bawah ini.

**Tabel 5.6** Golongan Darah Manusia

Gol darah	Aglutinogen	Aglutinin
A	A	$\beta$
B	B	$\alpha$
AB	AB	–
O	–	$\alpha . \beta$

Gen penentu golongan darah terletak pada kromosom autosom dan diberi simbol I (*Isohemaglutinogen*) sehingga alel-alelnya disimbolkan,  $I^A$  menghasilkan antigen A,  $I^B$  menghasilkan antigen B, dan  $I^O$  yang tidak menghasilkan antigen.

**Tabel 5.7** Genotipe Golongan Darah

Genotip	Fenotip Golongan
$I^A I^A$	A
$I^A I^O$	A
$I^B I^B$	B
$I^B I^O$	B
$I^A I^B$	AB
$I^O I^O$	O

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa golongan darah dapat bergenotip homozigot atau heterozigot. Contohnya, orang yang bergolongan darah A heterozigot menikah dengan golongan darah B heterozigot. Persilangannya dapat digambarkan sebagai berikut:

Tetua:	Ibu golongan darah A heterozigot	><	Ayah golongan darah B heterozigot
Genotip heterozigot :	$I^A I^O$	><	$I^B I^O$
Kemungkinan :	$I^A I^B$ , $I^B I^O$ , $I^O I^O$ , $I^A I^O$		
Fenotip golongan darah :	AB		B O A
Kesimpulan :	semua golongan dapat muncul.		

Jika seseorang mempunyai genotip  $I^A I^O$ , maka pada membran sel darah merah akan muncul aglutinogen A, sementara plasma darahnya mengandung aglutinin  $\beta$ . Darah akan menggumpal jika orang yang mempunyai anti B diberi golongan yang mengandung aglutinogen (antigen) B. Golongan darah O dapat diberikan kepada semua golongan darah, karena darahnya tidak mengandung antigen A ataupun B yang dapat menggumpalkan darah penerimanya. Sedangkan, golongan darah AB, dapat menerima darah dari golongan darah A, B, AB, atau O karena di dalam darahnya tidak terdapat aglutinin anti A maupun anti B. Dengan demikian, golongan darah O disebut *donor universal*, sedangkan golongan darah AB disebut *resipien universal*.

### b. Golongan darah MN

Penggolongan darah MN didasarkan pada ada tidaknya antigen dalam sel darah merah seseorang. Apabila seseorang bergolongan darah M, artinya di dalam darahnya mengandung antigen M, sedangkan orang yang di dalam sel darah merahnya mengandung antigen N, maka orang tersebut bergolongan darah N. Jadi, orang yang bergolongan darah MN dalam sel darah merahnya mengandung antigen M dan N sehingga orang tersebut bergolongan darah MN.



Diskusikan dengan teman sebangkumu. jika seorang wanita bergolongan darah AB menikah dengan laki-laki yang memiliki golongan darah A heterozigot. Apa kemungkinan golongan darah keturunannya?

Pengelompokan golongan darah MN tidak terikat pada golongan darah ABO. Dengan demikian, orang yang bergolongan darah M, N, atau MN terdapat sama banyak pada golongan darah A, B, AB, atau O.

Menurut para ahli, golongan darah MN ditentukan oleh gen yang mengandung dua alel. Satu alel menentukan faktor M dan yang lainnya menentukan faktor N. Jadi, orang yang bergenotip MM akan bergolongan darah M, golongan darah N mempunyai genotip NN, sedangkan golongan darah MN berarti mempunyai genotip MN.

Berikut ini digambarkan contoh perkawinan individu-individu menurut golongan darah MN. Mari cermati.

**Diagram 5.10**  
Perkawinan antara individu berdasarkan golongan darah MN

Perkawinan MN × M Gamet M, N, M			Perkawinan MN × N M, N, N			Perkawinan MN × MN M, N, M, N			
♂	♀	M	♂	♀	N	♂	♀	M	N
M		MM (1/2)	M		MN (1/2)	M		MM (1/4)	MN (1/4)
N		MN (1/2)	N		NN (1/2)	N		MN (1/4)	NN (1/4)


Jadi, menurut diagram di atas, jika orang yang bergolongan darah N menikah dengan orang yang bergolongan darah M, maka akan menghasilkan keturunan 100% golongan darah MN. Sedangkan, orang yang bergolongan darah MN dikawinkan dengan orang yang bergolongan darah N atau M, maka akan menghasilkan keturunan 50% golongan darah MN dan 50% golongan darah N atau M.

Serum (antibodi) manusia tidak mereaksi antigen M dan N sehingga tidak menimbulkan penggumpalan darah. Antibodi M dan N dapat dibuat dengan menyuntikkan darah manusia ke tubuh kelinci.

### c. Golongan darah Rhesus

Pada golongan darah rhesus ditentukan oleh ada tidaknya faktor rhesus (antigen Rh) pada sel darah seseorang. Golongan darah rhesus ini pertama kali ditemukan dalam darah kera (*Rhesus macacus*). Seseorang yang mengandung antigen Rh pada eritrositnya disebut Rh<sup>+</sup> (Rhesus positif), sedangkan yang tidak mempunyai antigen rhesus disebut Rh<sup>-</sup> (Rhesus negatif).

Seseorang yang mengandung antigen rhesus pada darah merahnya (Rh<sup>+</sup>) tidak dapat membentuk antibodi yang melawan antigen Rh<sup>-</sup>. Antibodi terhadap rhesus akan terbentuk

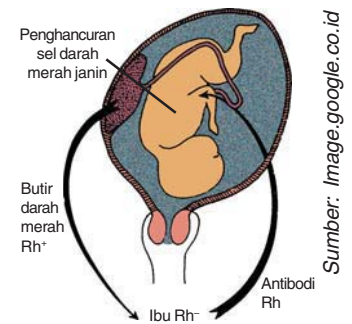


**Mari Berdiskusi**

Apa yang dimaksud dengan eritroblastosis fetalis? Sebutkan ciri-cirinya. Diskusikan dengan teman sebangkumu.

pada orang yang bergolongan darah ( $Rh^-$ ). Jadi, jika orang bergolongan darah  $Rh^-$  diberi transfusi darah dari orang bergolongan darah  $Rh^+$ , maka pada darah penerima tersebut akan membentuk antibodi yang melawan antigen rhesus.

Contoh lainnya adalah pada ibu yang bergolongan darah  $Rh^-$  mengandung bayi mengandung bayi yang bergolongan darah  $Rh^+$ . Di dalam tubuh ibu akan membentuk antibodi (anti  $Rh^+$ ) yang melawan darah bayi yang mengandung antigen  $Rh^+$ . Anak pertama biasanya selamat. Tetapi, jika ibu mengandung anak kedua yang bergolongan darah  $Rh^-$  kembali, maka antibodi yang sudah terbentuk dalam tubuh ibu akan menggumpalkan darah bayinya sehingga bayinya mengalami *eritroblastosis fetalis*.



**Gambar 5.9**  
Kebocoran sel-sel  $Rh^+$  dari plasenta

Mutasi adalah suatu perubahan yang terjadi pada bahan genetik yang menyebabkan perubahan ekspresinya. Perubahan bahan genetik dapat terjadi pada tingkat pasangan basa, tingkat satu ruas DNA, bahkan pada tingkat kromosom. Peristiwa terjadinya mutasi disebut *mutagenesis*. Sedangkan, individu yang mengalami mutasi sehingga menghasilkan fenotip baru disebut *mutan*. Faktor yang menyebabkan mutasi disebut *mutagen*. Untuk lebih mengetahui tentang mutasi, mari cermati uraian di bawah ini.

## MUTASI

### 1. Mutasi Gen (Mutasi Titik)

Mutasi gen atau mutasi titik adalah mutasi yang terjadi karena perubahan pada satu pasang basa DNA suatu gen. Perubahan DNA menyebabkan perubahan kodon-kodon RNA d, yang akhirnya menyebabkan perubahan asam amino tertentu pada protein yang dibentuk. Perubahan protein atau enzim akan menyebabkan perubahan metabolisme dan fenotip organisme. Besar kecilnya jumlah asam amino yang berubah akan menentukan besar kecilnya perubahan fenotip pada organisme tersebut. Ada dua mekanisme mutasi gen, yaitu substitusi pasangan basa dan penambahan atau pengurangan pasangan basa.

#### a. Substitusi pasangan basa

Substitusi pasangan basa ialah pergantian satu pasang nukleotida oleh pasangan nukleotida lainnya. Substitusi pasangan basa ada dua macam, yaitu *transisi* dan *tranversi*. Transisi adalah penggantian satu basa purin oleh basa purin yang lain, atau penggantian basa pirimidin menjadi basa pirimidin yang lain. Transisi sesama basa purin, misalnya basa



adenin diganti menjadi basa guanin atau sebaliknya. Sedangkan, transisi sesama basa pirimidin, misalnya basa timin diganti oleh basa sitosin atau sebaliknya.

Tranversi adalah penggantian basa purin oleh basa pirimidin, atau basa pirimidin oleh basa purin. Tranversi basa purin oleh basa pirimidin, misalnya basa adenin atau guanin diganti menjadi basa timin atau sitosin. Tranversi basa pirimidin oleh basa purin, misalnya basa timin atau sitosin menjadi basa adenin atau guanin.

Substitusi pasangan basa ini kadang-kadang tidak menyebabkan perubahan protein, karena adanya kodon sinonim (kodon yang terdiri atas tiga urutan basa yang berbeda, tetapi menghasilkan asam amino yang sama). Misalnya, basa nitrogen pada DNA adalah CGC menjadi CGA sehingga terjadi perubahan kodon pada RNA-d dari GCG menjadi GCU. Sedangkan, asam amino yang dipanggil sama, yaitu arginin.

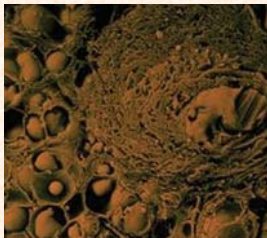
### b. Penambahan atau pengurangan pasangan basa

Mutasi gen yang lain adalah perubahan jumlah basa akibat penambahan atau pengurangan basa. Penambahan atau pengurangan basa pada DNA dapat menyebabkan perubahan sederetan kodon RNA-d yang terdapat di belakang titik perubahan tersebut, berarti juga akan terjadi perubahan asam amino yang disandikan melalui RNA-d tersebut. Akibat lain dari penambahan atau pengurangan basa adalah terjadinya pergeseran kodon akhir pada RNA-d. Pergeseran kodon akhir menyebabkan rantai polipeptida mutan menjadi lebih panjang atau lebih pendek. Mutasi ini disebut juga *mutasi ubah rangka* karena menyebabkan perubahan ukuran pada DNA maupun polipeptida.

Mutasi ubah rangka ini dapat dibedakan menjadi dua, yaitu penambahan basa (adisi) dan pengurangan basa (delesi). Mutasi karena penambahan basa, misalnya basa DNA awalnya AGC-GTC menjadi TAG-CGT-C... . Sedangkan, jika basa DNA tersebut mengalami pengurangan basa maka urutannya menjadi GCG-TC... . Penambahan atau pengurangan basa dapat terjadi di bagian awal, di tengah, atau di akhir.

## 2. Mutasi Kromosom

Selain terjadi pada tingkat gen, mutasi juga dapat terjadi pada tingkat kromosom, atau disebut juga aberasi kromosom. Mutasi kromosom ini mengakibatkan perubahan sejumlah basa yang berdampingan pada rantai DNA atau perubahan runtunan nukleotida dalam suatu ruas gen sehingga akibat yang ditimbulkan pada fenotip individu menjadi lebih nyata.



Kanker merupakan suatu penyakit yang disebabkan oleh pembelahan sel yang tidak terkendali. Hal ini disebabkan karena sel tersebut mengalami mutasi. Sel kanker akan membelah terus menerus menjadi sel tumor. Misalnya, tumor *ovari* (lihat gambar di atas). Sel kanker disebabkan oleh radiasi ionisasi (sinar x, sinar  $\alpha$  dan partikel-partikel radioaktif), senyawa kimia, seperti benzopyrene dan lain-lain.

(Sumber: Encarta, 2005)

Mutasi kromosom dapat dibedakan menjadi dua, yaitu mutasi yang diakibatkan oleh perubahan struktur kromosom karena hilang atau bertambahnya segmen kromosom, dan perubahan jumlah kromosom. Mutasi kromosom ini biasanya diakibatkan oleh kesalahan pada waktu meiosis melalui peristiwa pautan, pindah silang, atau gagal berpisah.

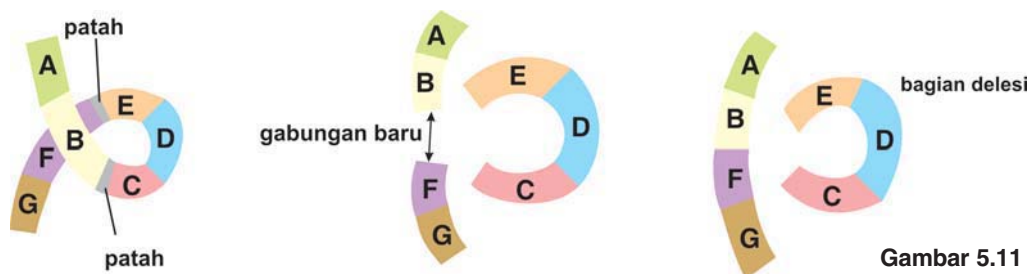
### a. Perubahan struktur kromosom

Perubahan struktur kromosom merupakan penataan kembali struktur kromosom akibat terjadinya delesi, duplikasi, inversi, dan translokasi kromosom.

#### 1) Delesi kromosom

Delesi adalah mutasi akibat hilangnya dua atau lebih nukleotida yang berdampingan. Apabila rangkaian basa yang hilang merupakan suatu ruas yang lebih kecil dari panjang gen, maka gen tersebut akan bermutasi, tetapi bila rangkaian nukleotida yang hilang lebih besar dari ruas suatu gen, maka gen tersebut akan hilang dari kromosom.

Contoh delesi kromosom terjadi pada kromosom X *Drosophila melanogaster* yang berukuran lebih pendek. Mutan ini bersifat resesif dan letal, dapat hidup hanya dalam bentuk heterozigot.

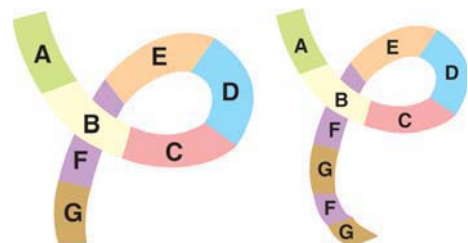


Gambar 5.11  
Delesi kromosom

#### 2) Duplikasi kromosom

Duplikasi adalah mutasi yang terjadi karena penambahan ruas kromosom atau gen dengan ruas yang telah ada sebelumnya. Sehingga, terjadi pengulangan ruas-ruas DNA dengan runtunan basa yang sama yang mengakibatkan kromosom mutan lebih panjang.

Contoh perubahan fenotip akibat proses duplikasi adalah gen bar pada *Drosophila melanogaster*. Penambahan gen pada kromosom lalat buah ini mengakibatkan peningkatan enzim tertentu yang menyebabkan ketidakseimbangan metabolisme.



Gambar 5.12  
Duplikasi kromosom

### 3) Inversi kromosom

Inversi adalah penataan kembali struktur kromosom yang terjadi melalui pemutaran arah suatu ruas kromosom sehingga kromosom mutan mempunyai ruas yang runtunan biasanya merupakan kebalikan dari runtunan basa kromosom liar. Misalnya pada satu ruas kromosom terdapat urutan ruas ABCDEF, setelah inversi diperoleh ruas AEDCBF. Jadi, terjadi pemutaran ruas BCDE.

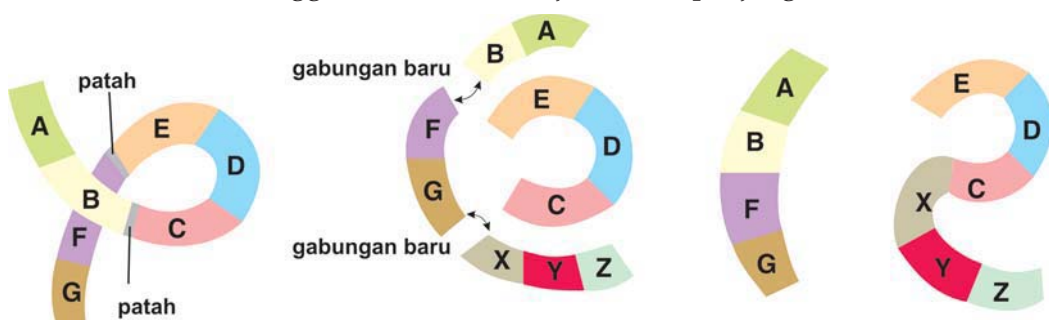
Inversi dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu: *inversi parasentrik* dan *inversi perisentrik*. Inversi parasentrik, yaitu bila sentromer berada di luar ruas yang terbalik. Dan *inversi perisentrik*, yaitu bila sentromer terdapat dalam segmen yang berputar.



Gambar 5.13  
Inversi kromosom

### 4) Translokasi kromosom

Translokasi adalah mutasi yang terjadi akibat perpindahan ruas DNA (segmen kromosom) ke tempat yang baru, baik dalam satu kromosom atau antarkromosom yang berbeda. Bila terjadi pertukaran ruas antarkromosom, disebut *translokasi resiprok*. Sedangkan, *translokasi tidak resiprok* adalah berpindahnya segmen kromosom ke kromosom yang lain tanpa pertukaran sehingga kromosom menjadi lebih panjang.



Gambar 5.14  
Translokasi kromosom

#### b. Perubahan jumlah kromosom

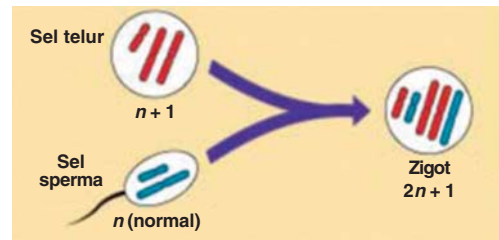
Makhluk hidup dalam satu spesies memiliki jumlah kromosom yang sama, sedangkan pada spesies yang berbeda memiliki jumlah kromosom yang berbeda pula. Jumlah kromosom tersebut dapat berbeda dalam satu spesies karena terjadi mutasi. Perubahan jumlah kromosom tersebut biasanya

terjadi pada waktu terjadinya meiosis pada saat terjadi pindah silang atau gagal berpisah.

Ada dua jenis perubahan jumlah kromosom, yaitu aneuploidi (penambahan atau pengurangan satu atau beberapa kromosom pada satu ploidi) dan euploidi (penambahan atau kehilangan keseluruhan kromosom dalam satu ploidi).

**1) Aneuploidi**

Organisme aneuploidi adalah organisme yang jumlah kromosomnya terdapat penambahan atau kehilangan satu atau beberapa kromosom pada genomnya. Yang banyak ditemui adalah individu dengan penambahan atau pengurangan satu kromosom. Dengan penambahan satu kromosom ( $2n + 1$ ), maka dalam inti akan ada satu nomor kromosom dengan tiga homolog (trisomi), sedangkan nomor yang lainnya tetap mengandung dua kromosom. Kebalikannya, melalui pengurangan satu kromosom ( $2n - 1$ ) akan dihasilkan individu monosomi, yaitu yang mengandung hanya satu kromosom tanpa pasangan homolognya.



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 5.15**  
Aneuploidi dengan penambahan satu kromosom ( $2n + 1$ )

Aneuploidi terbentuk karena adanya ketidakseimbangan segregasi kromosom dalam proses meiosis. Kegagalan segregasi yang terjadi pada meiosis I apabila dua kromosom homolog bergerak ke kutub yang sama sehingga menghasilkan dua sel dengan dua kromosom dan dua sel tanpa kromosom. Sedangkan, pada meiosis II, dua kromosom bersaudara pada satu kromatid tidak berpisah menuju kutub yang berbeda sehingga menghasilkan dua sel normal, satu sel dengan dua kromosom, dan satu sel tanpa kromosom.

Pada manusia terdapat berbagai kasus trisomi atau monosomi baik pada autosom atau kromosom seks yang menyebabkan munculnya berbagai sindrom kelainan fisik dan mental. Pada Tabel 5.8 diperlihatkan berbagai aneuploidi pada manusia dengan sindrom penyakit yang ditimbulkannya.

**Tabel 5.8** Kelainan kromosom

Kelainan Kromosom	Sindrom
Trisomi 21	Sindrom down
Trisomi 18	Sindrom edward
Trisomi 13	Sindrom patau
47, XXX	Sindrom triple X
47, XXY	Sindrom klinefelter
47, XYY	-
45, XO	Sindrom turner

**Mari Berdiskusi**

Carilah di buku referensi biologi, tentang ciri-ciri sindrom pada Tabel 5.8. Kemudian, diskusikan hasilnya dengan guru dan teman.



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 5.16**  
Sindrom down



## 2) Euploidi

Euploidi ialah perubahan jumlah kromosom pada tingkat ploidi atau genom sehingga jumlah kromosom merupakan kelipatan jumlah kromosom pada satu genom. Misalnya adalah jumlah kromosom pada sel adalah haploid, maka euploidi yang mungkin muncul adalah kromosom yang berjumlah  $n$  (monoploid),  $2n$  (diploid),  $3n$  (triploid),  $4n$  (tetraploid), dan seterusnya.



Mengapa lebah jantan memiliki kromosom monoploid, sedangkan betina diploid?

Diskusikan dengan teman sebangkumu.

Keragaman tingkat ploidi banyak ditemukan pada tumbuhan yang berhubungan dengan evolusi spesies-spesies. Pada hewan dikenal adanya tingkat ploidi yang berhubungan dengan penentuan jenis seks. Contohnya, lebah madu berkromosom monoploid, sedangkan yang betina diploid.

Jika makhluk diploid dianggap sebagai makhluk normal, dan sebagian besar merupakan organisme eukariot, maka euploid lain merupakan hasil mutasi diploid. Menurut kelipatan jumlah kromosom pada satu genom, dibedakan sebagai berikut:

- (a) Monoploid ( $n$ );
- (b) Diploid ( $2n$ );
- (c) Poliploidi ( $3n$ ,  $4n$ , dan seterusnya).

Poliploidi ialah proses peningkatan jumlah ploidi menjadi lebih tinggi dari diploid, yaitu triploid, tetraploid, dan seterusnya. Pada tumbuhan ditemukan banyak spesies yang dibedakan oleh tingkat ploidi, misalnya kentang, gandum, dan pisang. Terdapat dua kelompok poliploidi, yaitu *autopoliploid* dan *alopoliploid*. *Autopoliploid* ialah penggandaan ploidi dengan penggabungan genom-genom yang sama. Sedangkan, *alopoliploid* ialah penggandaan kromosom melalui penggabungan genom-genom yang berbeda.

### c. Faktor penyebab mutasi

Perubahan bahan genetik, baik mutasi tingkat gen maupun mutasi kromosom dapat terjadi secara alami atau buatan. Mari cermati uraian berikut ini.

#### 1) Mutasi alami

Mutasi alami dapat terjadi akibat kesalahan secara acak yang berlangsung dalam proses replikasi, saat pembelahan sel, atau karena adanya unsur dalam material genetik yang dapat berubah secara acak.

Mutasi terjadi secara lambat, kemungkinan terjadinya mutasi di alam, kira-kira satu di antara satu juta sampai satu milyar kejadian. Faktor luar yang secara alami merangsang terjadinya mutasi adalah sinar-sinar kosmis dari luar angkasa, sinar radioaktif yang terdapat di alam, dan sinar ultraviolet.

Mutasi yang terjadi secara alami ini biasanya bersifat merugikan bagi makhluk hidup yang mengalaminya dan sering tidak mampu bertahan hidup karena tidak mampu menyesuaikan diri dengan lingkungannya. Tetapi, jika ada yang dapat bertahan hidup dan mewariskan sifat-sifat barunya kepada keturunannya, maka keturunan tersebut menjadi varietas baru. Individu baru ini, dapat menjadi spesies baru dalam beberapa ratusan generasi. Spesies baru yang terbentuk akibat adanya mutasi secara alami ini merupakan salah satu mekanisme evolusi biologi.

## 2) Mutasi buatan

Peristiwa mutasi alami terjadi sangat lambat. Oleh karena itu, manusia melakukan perubahan materi genetik yang sengaja dibuat untuk kepentingannya. Mutagen yang dapat dipakai untuk merangsang mutasi adalah:

- (a) Bahan fisik, misalnya berbagai gelombang cahaya pada sinar matahari, seperti ultraviolet, infra merah, dan sinar-sinar radioaktif seperti sinar  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ .
- (b) Bahan kimia, antara lain etil metan sulfonat (EMS), etiletan sulfonat (EES), dan hidrosilamin (HA).
- (c) Bahan biologis yang merupakan bahan mutakhir digunakan ialah elemen loncat.

Selain mutagen di atas, suhu yang tinggi dan virus juga merupakan mutagen.

Sinar X menyebabkan mutasi kromosom dengan cara memutus kromosom menjadi beberapa bagian. Bagian-bagian ini dapat hancur atau bergabung dengan kromosom lain. Peristiwa ini menyebabkan mutasi gen atau mutasi kromosom. Sifat sinar X ini dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan mutan tumbuhan maupun hewan agar mempunyai sifat yang lebih baik untuk keuntungan manusia. Hasil mutasi buatan dari radiasi sinar X, antara lain: bibit unggul padi *kultivar atomita I dan II*, kedelai *kultivar Muria*, dan tomat *kultivar Boutset*.

Pemberian bahan kimia *kolkisin* dapat menghambat kerja mikrotubulus sehingga pemisahan kromatid pada fase anafase tidak terjadi dan mengakibatkan poliploidi. Hal ini dimanfaatkan untuk menghasilkan buah tanpa biji, misalnya semangka.



**Gambar 5.17**  
Semangka tanpa biji

Sumber: Image.google.co.id



Kamu telah mempelajari hereditas dan mutasi. Hal-hal penting apa sajakah yang harus diketahui dalam mempelajarinya? Catatlah dalam bentuk rangkuman. Kemudian, tukarlah hasil rangkumanmu dengan rangkuman teman. Berikan masukan dan saran pada rangkuman masing-masing.

## Daftar Istilah

<b>Autosom</b>	= kromosom di luar kromosom seks
<b>Dihybrid</b>	= perkawinan dengan memperhatikan dua sifat beda
<b>Aglutinin</b>	= substansi yang dapat menggumpalkan sel darah merah
<b>Aglutinogen</b>	= antigen sel dalam darah merah yang merangsang pembentukan aglutinin. Dipakai sebagai dasar untuk penggolongan darah manusia menjadi tipe A, B, AB, dan O.
<b>Dominan</b>	= sifat fenotip yang muncul pada $F_1$ , sifat yang menang terhadap sifat resesif.
<b>Epistasis</b>	= interaksi gen tidak beralel, dengan satu gen menutupi ekspresi gen yang lain.
<b>Fenotipe</b>	= penampakan sifat sebagai hasil interaksi antara genotip dengan lingkungannya.
<b>Genotipe</b>	= sifat yang ditentukan oleh gen.
<b>Hemofili</b>	= penyakit darah sukar membeku
<b>Heterozigot</b>	= genotip yang tersusun atas gen dan alel yang tidak sama, satu dominan dan yang lain resesif.
<b>Kiasma</b>	= sambungan yang terdapat di antara kromatid-kromatid homolog, tempat terjadinya proses pertukaran dalam peristiwa pindah silang.
<b>Letal</b>	= gen penyebab kematian individu.
<b>Monohybrid</b>	= perkawinan dengan memperhatikan satu sifat beda.
<b>Mutagen</b>	= substansi kimia, biologi atau perlakuan yang dapat meningkatkan mutasi secara spontan.
<b>Mutan</b>	= organisme yang mengalami mutasi sehingga berbeda dari tipe lainnya.
<b>Pautan</b>	= gen yang terpaut karena terletak pada lokus yang berdekatan.
<b>Pindah silang</b>	= peristiwa pindahnya gen dari satu kromosom ke kromosom yang homolog karena lokusnya berjauhan. Terjadi pada saat meiosis.

## M a r i B e r k o m p e t e n s i

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat di setiap soal-soal berikut.

1. Aneuploidi merupakan peristiwa ....
  - a. kriptomeri
  - b. pautan
  - c. pindah silang
  - d. gagal berpisah
  - e. polimeri
2. Poliploidi artinya ....
  - a. ada penambahan dua atau satu kromosom haploid
  - b. memiliki banyak kromosom
  - c. memiliki kelipatan jumlah kromosom
  - d. memiliki banyak sifat menurun
  - e. hanya ada satu kromosom
3. Sifat yang muncul pada pembastaran heterozigot dengan sifat beda yang berdiri sendiri-sendiri tetapi mempengaruhi bagian yang sama dari suatu organisme adalah ....
  - a. polimeri
  - b. kriptomeri
  - c. poliploidi
  - d. aneuploidi
  - e. hipostasis
4. Pada hasil penelitian diperoleh data sebagai berikut ...  
 Fenotip tetua = 2000  
 Fenotip rekombinan = 1000  
 Harga FR (NP) = ....
  - a. 40%
  - b. 15%
  - c. 25%
  - d. 20%
  - e. 33,3%
5. Perbandingan genotip 15 : 1 dihasilkan oleh keturunan  $F_2$  dari ....
  - a. Persilangan dengan poliploidi
  - b. Persilangan kriptomeri
  - c. Persilangan dengan dua sifat beda polimeri
  - d. Persilangan dengan tiga sifat beda
  - e. Persilangan satu sifat beda
6. Jika seorang wanita bergolongan darah A heterozigot kawin dengan pria golongan darah B heterozigot, maka kemungkinan golongan darah keturunannya adalah ....
  - a. A : B : AB : O = 1 : 1 : 1 : 1
  - b. tidak akan ada yang O
  - c. hanya A : B = 1 : 1
  - d. semua AB
  - e. hanya AB : O = 1 : 1
7. Pernyataan yang benar tentang buta warna adalah ....
  - a. faktor buta warna resesif dan terpaut kromosom Y
  - b. faktor buta warna dominan dan terpaut kromosom Y
  - c. faktor buta warna resesif dan terpaut kromosom X
  - d. faktor buta warna dominan dan terpaut kromosom X
  - e. faktor buta warna kodominan dan terpaut kromosom X
8. Peta silsilah menggambarkan ....
  - a. charta yang untuk melacak abnormalitas genetik beberapa generasi
  - b. charta pewarisan penyakit menurun
  - c. charta hubungan genetik individu-individu
  - d. charta para penderita penyakit menurun
  - e. charta hubungan antar individu
9. Penyebab gangguan mental FKU adalah ....
  - a. fenilpiruvat merusak sistem saraf sehingga individu menderita gangguan mental

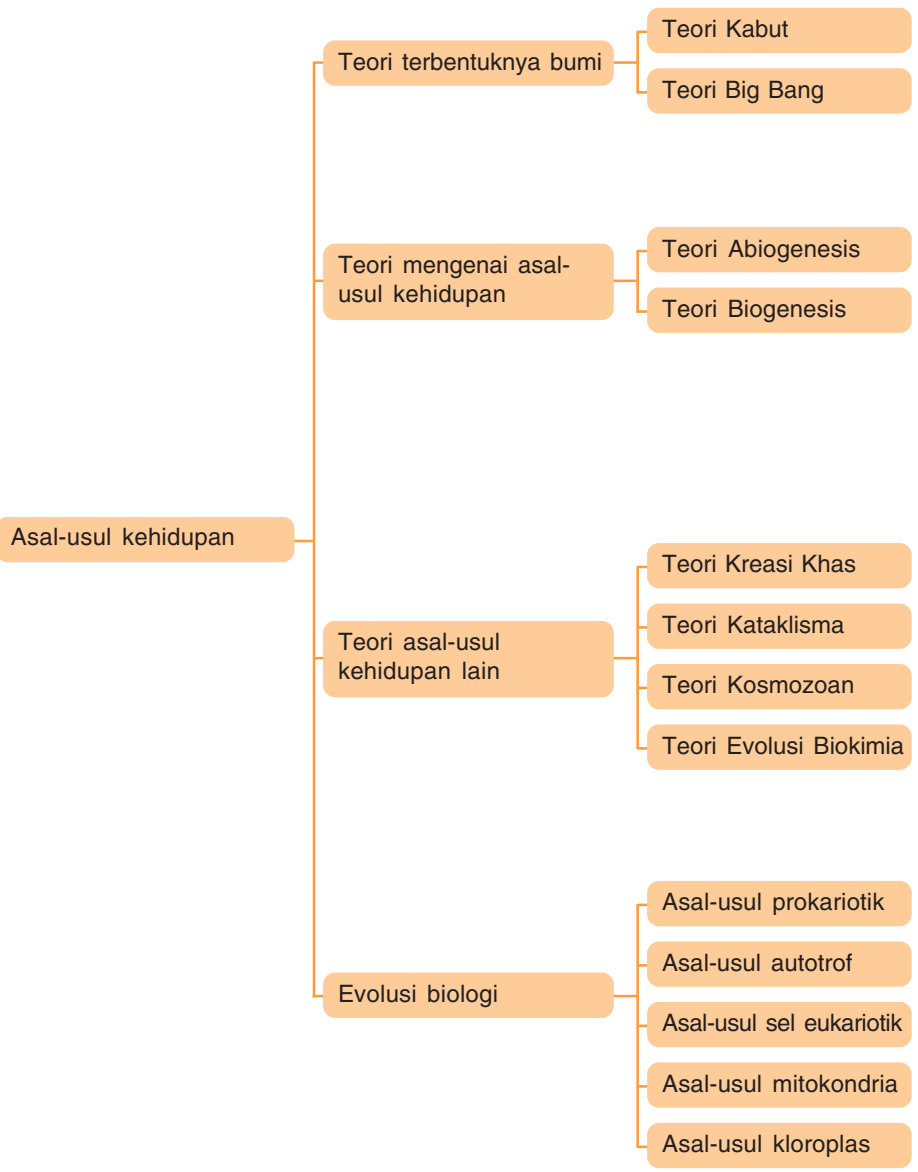


- b. individu yang homozigot resesif menimbun fenilalanin dalam urin
  - c. kedua orang tua yang heterozigot yang penampakannya normal
  - d. kegagalan tubuh penderita membentuk enzim pengubah fenilalanin menjadi tirosin
  - e. kegagalan tubuh penderita membentuk fenilalanin
10. Pernyataan sifat resesif dan dominan di bawah ini benar, *kecuali* ....
- a. sifat resesif hanya muncul pada persilangan dihibrida
  - b. sifat resesif hanya muncul dalam keadaan homozigot
  - c. sifat dominan pasti muncul pada setiap keturunan
  - d. sifat resesif homozigot pasti akan muncul pada setiap keturunan.
  - e. sifat dominan tidak akan muncul pada  $F_2$
11. Mutasi somatik merupakan mutasi ....
- a. sebagai akibat gagal berpisah
  - b. terjadi dalam sel gamet
  - c. dapat diwariskan kepada generasi berikutnya
  - d. hanya diwariskan pada anak sel yang dihasilkan oleh mitosis
  - e. sebagai akibat pindah silang
12. Perbedaan yang jelas antara mutasi gen dan mutasi kromosom adalah ....
- a. mutasi kromosom berakibat lebih nyata pada fenotip
  - b. mutasi gen dapat menimbulkan sifat poliploidi
  - c. mutasi gen menimbulkan sifat aneuploidi
  - d. mutasi gen berakibat lebih nyata pada fenotip
  - e. mutasi kromosom tidak berakibat nyata pada fenotip
13. Manakah yang tepat dari pernyataan di bawah ini?
- a. Mutasi terjadi di mana-mana
  - b. Mutasi terjadi sewaktu-waktu
  - c. Mutasi hanya terjadi secara alami
  - d. di dalam alam, mutasi terjadi secara lambat tapi pasti
  - e. mutasi alami terjadi secara cepat
14. Pemberian bahan kimia dapat mengakibatkan ....
- a. gagal silang
  - b. poliploidi
  - c. pindah silang
  - d. aneuploidi
  - e. euploidi
15. Mutasi alami yang berlangsung lambat, biasanya disebabkan oleh ....
- a. sinar x
  - b. sinar gamma
  - c. sinar ultraviolet
  - d. sinar laser
  - e. bahan radioaktif

**B. Jawablah soal-soal berikut dengan singkat dan jelas.**

1. Bila diketahui jumlah keturunan rekombinan 425 dan fenotip tetua 1875, berapa nilai frekuensi rekombinannya?
2. Peristiwa gagal berpisah dapat terjadi pada saat meiosis 1 maupun meiosis 2. Jelaskan perbedaannya.
3. Jelaskan mengenai penentu jenis kelamin berdasarkan kromosom seks. Tuliskan contoh organisme heterogametik jantan dan heterogametik betina.
4. Apakah yang dimaksud dengan mutasi? Bagaimana mutasi dapat menyebabkan evolusi biologi?
5. Perubahan jumlah kromosom menyebabkan aneuploidi pada manusia. Tuliskanlah empat contoh aneuploidi pada manusia, dan jelaskan.

Peta Konsep



Pernahkah kamu berpikir, dari manakah makhluk hidup berasal? Sejak dahulu, orang mempertanyakan asal-usul makhluk hidup dan kehidupan di bumi ini. Banyak teori atau pendapat yang dikemukakan orang. Sebelum abad 17, banyak orang yang menganggap bahwa makhluk hidup berasal dari benda mati. Misalnya, ikan dan katak berasal dari lumpur, lalat berasal dari daging yang telah membusuk, dan sebagainya.

Aristoteles berpendapat bahwa makhluk hidup terbentuk dari benda mati secara spontan. Teorinya dikenal dengan nama *generation spontanea*. Para ilmuwan berusaha mencari jawaban tentang asal-usul kehidupan dengan melakukan berbagai macam percobaan. Dari percobaan-percobaan tersebut dihasilkan beberapa teori tentang kehidupan yang mengarah ke evolusi biologi. Kamu akan mengetahui teori dan mekanisme evolusi biologi setelah mempelajari bab ini, mari cermati uraiannya.

## A Teori Terbentuknya Bumi

Sebelum membahas teori asal-usul kehidupan, terlebih dahulu akan dibahas teori terbentuknya bumi. Ada beberapa teori tentang terjadinya bumi dan benda-benda langit lainnya, antara lain: Teori Kabut (nebula) dan Teori Big Bang.

### 1. Teori Kabut

*Teori Kabut* menyatakan bahwa bintang-bintang di angkasa meledak. Hasil ledakan yang berupa debu dan gas membentuk kabut. Kabut ini disebut *kabut asal* atau *nebula*. Kabut ini kemudian memadat, lalu meledak lagi menghasilkan bintang-bintang baru dan planet-planet termasuk bumi.

### 2. Teori Big bang

*Teori Big Bang* (ledakan hebat) menyatakan bahwa kira-kira 15 milyar tahun yang lalu, semua materi di angkasa menyatu dan memadat (berkondensasi) membentuk satu bentuk yang mengecil. Selanjutnya, massa padat yang mengecil ini meledak dengan ledakan yang hebat. Debu dan gas-gas hasil ledakan membentuk bintang-bintang generasi baru. Saat inilah diperkirakan awal terbentuknya alam semesta. Bumi terbentuk sekitar 5 milyar tahun yang lalu, dan makhluk hidup muncul pertama di bumi sekitar 1 milyar tahun kemudian.

Sumber: Encarta Library 2005



Gambar 6.1  
Nebula



Apa perbedaan antara Teori Kabut dan Teori Big Bang?

Diskusikan dengan teman sebangkumu.

Berdasarkan fosil dan perhitungan yang teliti, diduga kehidupan muncul di bumi sekitar 4 milyar tahun yang lalu.

Para ilmuwan berteori bahwa kehidupan terbentuk melalui suatu proses evolusi. Evolusi adalah suatu perubahan yang terjadi secara berangsur-angsur dan perlahan-lahan dalam waktu jutaan, bahkan bermilyar-milyar tahun lamanya.

Teori mengenai asal-usul kehidupan dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu *Teori Abiogenesis* dan *Teori Biogenesis*. Mari cermati uraiannya.

### 1. Teori Abiogenesis (*Generatio Spontanea*)

Tokoh teori ini adalah **Aristoteles** (384 - 322 SM), seorang ahli filsafat dan ilmu pengetahuan Yunani Kuno. Menurut teori yang dikemukakannya, makhluk hidup berasal dari benda tak hidup. Sebenarnya, Aristoteles mengetahui bahwa telur-telur ikan merupakan hasil perkawinan akan menetas menghasilkan ikan yang sama dengan induknya, tetapi dia yakin bahwa ada ikan yang berasal dari lumpur. Makhluk tersebut terjadi secara spontan sehingga teori abiogenesis disebut juga *generation spontanea*.

Tokoh *Abiogenesis* yang lain adalah **John Needham** (1700) seorang berkebangsaan Inggris. Dia melakukan percobaan dengan merebus sepotong daging dalam wadah selama beberapa menit (tidak sampai steril). Air rebusan daging disimpan dan ditutup dengan tutup botol dari gabus. Setelah beberapa hari, air kaldu menjadi keruh yang disebabkan oleh adanya mikroba. Needham mengambil kesimpulan bahwa mikroba berasal dari air kaldu.

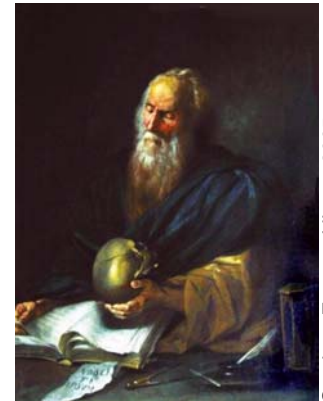
Jadi, menurut paham *generation spontanea*, semua kehidupan berasal dari benda tak hidup secara spontan, seperti:

- ikan dan katak berasal dari lumpur
- cacing berasal dari tanah
- belatung terbentuk dari daging yang membusuk
- tikus berasal dari sekam dan kain kotor.

Pada abad ke-17, **Antonie Van Leeuwenhoek** berhasil membuat mikroskop sederhana. Dengan alat ini, ia dapat melihat benda-benda aneh yang sangat kecil dalam setetes air rendaman jerami. Penemuan inilah yang merupakan awal runtuhnya paham Abiogenesis.

Tidak semua orang puas dengan teori yang dikemukakan oleh para penganut paham abiogenesis. Oleh karena itu, ada orang yang mulai menyelidiki asal-usul makhluk hidup melalui berbagai percobaan.

## B Teori Mengenai Asal-Usul Kehidupan



Sumber: Encarta Library 2005

**Gambar 6.2**  
Aristoteles



Sumber: Encarta Library 2005

**Gambar 6.3**  
Antonie Van Leeuwenhoek

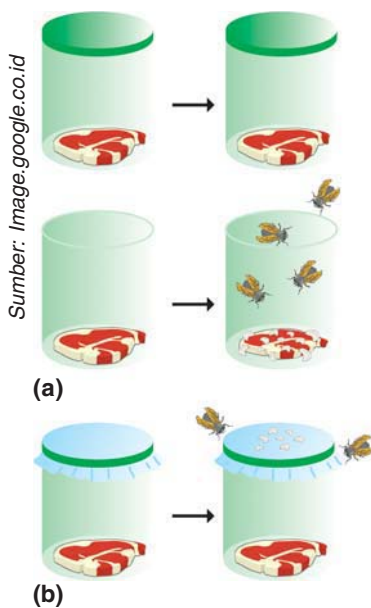


Walaupun bertahan beratus-ratus tahun, teori Abiogenesis akhirnya goyah dengan adanya penelitian tokoh-tokoh yang tidak puas dengan paham Abiogenesis. Tokoh-tokoh ini antara lain: Francesco Redi (Italia, 1626 - 1697), Lazzaro Spallanzani (Italia, 1729 - 1799), dan Louis Pasteur (Perancis, 1822 - 1895)

## 2. Teori Biogenesis

### a. Percobaan Francesco Redi (1626 - 1697)

**Francesco Redi** adalah seorang dokter Italia. Dia melakukan percobaan untuk menunjukkan bahwa ulat tidak muncul dengan sendirinya pada daging yang membusuk, melainkan berasal dari telur lalat.



Pada percobaannya yang pertama tahun 1668, Redi menggunakan dua kerat daging segar dan dua toples. Toples I diisi dengan sekerat daging dan ditutup rapat-rapat. Sedangkan, toples II diisi dengan kerat daging dan dibiarkan terbuka.

Setelah beberapa hari, keadaan daging pada kedua toples tersebut diamati. Hasilnya, pada toples II daging telah membusuk dan di dalam daging terdapat banyak larva. F. Redi menyimpulkan bahwa larva bukan berasal dari daging yang membusuk, tetapi berasal dari lalat yang masuk kemudian bertelur pada kerakan daging dan telur tersebut menetas menjadi larva.

Hasil percobaan ini mendapat sanggahan dari para ilmuwan pengikut teori abiogenesis. Sanggahan tersebut adalah kehidupan pada toples I tidak dapat terjadi karena toples tersebut tertutup sehingga tidak ada kontak dengan udara. Akibatnya, tidak ada daya hidup di dalamnya.

Untuk menjawab sanggahan tersebut, Redi melakukan percobaan kedua, yaitu meletakkan daging pada toples tertutup kain kasa sehingga masih terjadi hubungan dengan udara, tetapi lalat tidak dapat masuk. Hasil percobaan menunjukkan bahwa keratan daging membusuk, pada daging ini ditemukan sedikit larva, dan pada kain kasa penutupnya ditemukan lebih banyak larva. Redi berkesimpulan larva bukan berasal dari daging yang membusuk, tetapi berasal dari lalat yang hinggap di kain kasa dan beberapa telur jatuh pada daging.

### b. Percobaan Lazzaro Spallanzani (1729 - 1799)

Percobaan Spallanzani pada prinsipnya sama dengan percobaan Redi, tetapi bahan yang digunakan adalah air kaldu.

Labu I : diisi 70 cc air kaldu, kemudian dipanaskan 15° C dan dibiarkan terbuka.

Labu II : diisi 70 cc air kaldu, kemudian ditutup rapat dengan sumbat gabus, lalu dipanaskan dan pada daerah

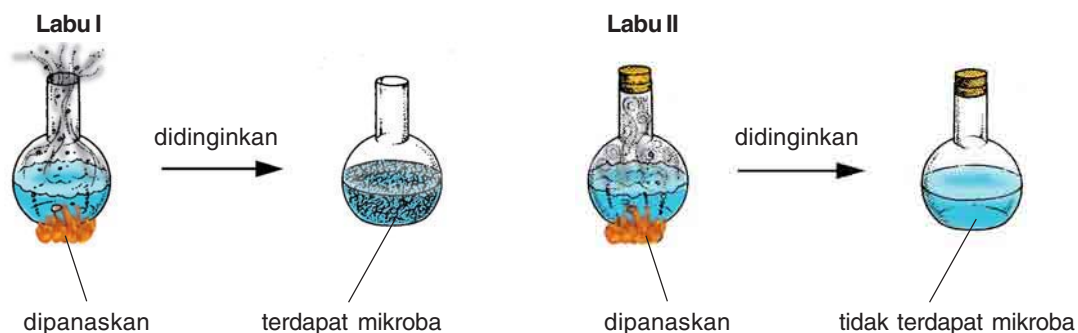
**Gambar 6.4**  
Perangkat percobaan  
Francesco Redi  
(a) Percobaan I  
(b) Percobaan II

pertemuan gabus dengan mulut labu dapat diolesi lilin agar lebih rapat.

Kedua labu itu ditempatkan di tempat terbuka dan didinginkan. Setelah beberapa hari kemudian, hasil percobaan menunjukkan bahwa:

Labu I : terjadi perubahan, air kaldu menjadi keruh dan berbau tidak enak, serta banyak mengandung mikroba.

Labu II : tidak ada perubahan sama sekali, air tetap jernih dan tanpa mikroba. Tetapi, bila dibiarkan terbuka lebih lama terdapat banyak mikroba.



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 6.4**  
Perangkat percobaan Spallanzani

Dengan mikroskop tampak bahwa pada kaldu yang berasal dari labu I dan labu II terdapat mikroorganisme.

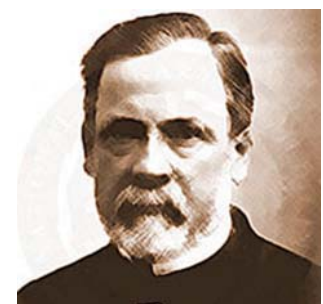
Spallanzani menyimpulkan bahwa timbulnya kehidupan hanya mungkin jika telah ada kehidupan sebelumnya. Jadi, mikroorganisme tersebut telah ada dan tersebar di udara.

Pendukung abiogenesis menyatakan keberatan terhadap hasil eksperimen Spallanzani, sebab udara diperlukan untuk berlakunya *generation spontanea*. Sedangkan, paham biogenesis beranggapan bahwa udara itu merupakan sumber kontaminasi.

### c. Percobaan Louis Pasteur

Orang yang memperkuat teori Biogenesis dan menumbangkan teori Abiogenesis hingga tak tersanggahkan lagi adalah **Louis Pasteur** (1822 - 1895) seorang ahli biokimia berkebangsaan Perancis. Pasteur melakukan percobaan penyempurnaan dari percobaan yang dilakukan Spallanzani. Pada percobaannya, Pasteur menggunakan air kaldu dan tabung berleher angsa. Percobaannya adalah sebagai berikut:

- 1) Air kaldu dimasukkan ke labu berleher angsa. Labu ini digunakan dengan tujuan untuk menjaga adanya hubungan antara labu dengan udara luar. Selanjutnya, labu dipanaskan untuk mensterilkan air kaldu dari mikroorganisme.



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 6.6**  
Louis Pasteur

- 2) Setelah dingin, labu ditempatkan pada tempat yang aman. Karena bentuk pipa seperti angsa, udara dari luar dapat masuk ke dalam labu dan menempel di dasar lehernya. Sehingga udara yang masuk ke dalam labu adalah udara yang steril. Jadi, dalam percobaan ini masih ada daya hidup seperti yang dipersoalkan penganut paham Abiogenesis. Setelah dibiarkan beberapa hari, air kaldu tetap jernih dan tidak mengandung mikroorganismenya.
- 3) Labu yang berisi air kaldu jernih, kemudian dipecahkan lehernya sehingga air kaldu bersentuhan dengan udara luar secara langsung. Setelah beberapa hari dibiarkan, air kaldu menjadi busuk dan banyak mengandung mikroorganismenya.



Kesimpulan percobaan Pasteur adalah mikroorganismenya yang ada pada air kaldu bukan berasal dari cairan (benda tak hidup), melainkan dari mikroorganismenya yang terdapat di udara. Mikroorganismenya yang ada di udara masuk ke dalam labu bersama-sama dengan debu.

Berdasarkan hasil percobaan tersebut, tumbanglah Teori Abiogenesis dan muncul Teori Biogenesis yang menyatakan bahwa:

- a) *Omne vivum ex ovo*, artinya setiap makhluk hidup berasal dari telur.
- b) *Omne ovum ex vivo*, artinya setiap telur berasal dari makhluk hidup.
- c) *Omne vivum ex vivo*, artinya setiap makhluk hidup berasal dari makhluk hidup juga.

Teori Louis Pasteur telah menjawab bahwa setiap makhluk hidup berasal dari makhluk hidup juga dan bukan berasal dari benda mati. Dari manakah makhluk hidup berasal? Bagaimana proses pembentukannya? Mari cermati uraian berikut ini.

### 1. Teori Kreasi Khas

Teori Kreasi Khas menyatakan bahwa kehidupan diciptakan oleh zat supranatural (gaib) pada saat yang istimewa. Teori ini dikenal dengan nama Teori Kreasi Khas atau Teori Penciptaan Khusus. **Carolus Linnaeus** adalah salah satu pengikut teori ini.

### 2. Teori Kataklima

Teori kataklisma menyatakan bahwa semua spesies diciptakan sendiri-sendiri dan berlangsung dalam periode-periode, di antara periode yang satu dengan yang lain terjadi bencana yang menghancurkan spesies lama dan memunculkan spesies baru. Pandangan ini dipelopori oleh **Cuvier**.

### 3. Teori Kosmozoan

Teori ini menyatakan bahwa kehidupan yang ada di planet bumi berasal dari protoplasma yang membentuk spora-spora kehidupan. Spora kehidupan ini mencapai permukaan bumi dan berasal dari alam semesta. Pelopor teori ini adalah **Arrhenius**.

### 4. Teori Evolusi Biokimia

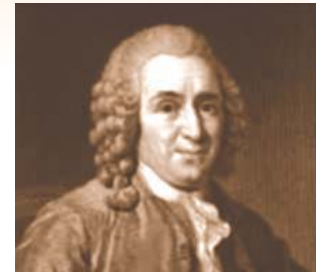
Teori ini menyatakan bahwa makhluk hidup terbentuk berdasarkan hukum Fisika-Kimia yang dilanjutkan dengan Evolusi Biologi. Teori ini disebut Teori Evolusi Biokimia.

Para ahli Biologi, Astronomi, dan Geologi sepakat bahwa planet bumi ini telah terbentuk kira-kira antara 4,5 - 5 milyar tahun yang lalu. Keadaan pada saat awal terbentuknya bumi sangat berbeda dengan keadaan saat ini.

Pada saat itu, suhu planet bumi diperkirakan mencapai 40.000 - 80.000°C. Pada saat mulai mendingin, senyawa karbon beserta beberapa unsur logam mengembun membentuk inti bumi. Sedangkan, permukaannya tetap gersang, tandus dan tidak datar.

Di atmosfer bumi terbentuk senyawa-senyawa sederhana yang mengandung unsur-unsur, seperti uap air (H<sub>2</sub>O), ammonia (NH<sub>3</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Senyawa

## C Teori Asal-Usul Kehidupan Lain



Gambar 6.7  
Carolus Linnaeus

Sumber: Encarta Library 2005



Gambar 6.8  
Arrhenius

Sumber: Encarta Library 2005



Gambar 6.9  
Bumi diduga terbentuk sekitar 4,5 - 5 milyar tahun yang lalu

Sumber: Encarta Library 2005



sederhana ini berbentuk uap dan bertahan di lapisan atas atmosfer.

Ketika suhu atmosfer turun sekitar  $100^{\circ}\text{C}$  terjadilah hujan air mendidih. Peristiwa ini berlangsung selama ribuan tahun. Dalam keadaan semacam ini, bumi dipastikan belum dihuni kehidupan. Namun, kondisi ini memungkinkan berlangsungnya reaksi kimia, karena tersedianya zat (materi) dan energi yang berlimpah.

Berdasarkan uraian tersebut, beberapa ilmuwan mengemukakan pendapat serta melakukan eksperimen. Di antaranya adalah: **Harold Urey** dan **Stanley Miller**.

#### a. Teori Evolusi Kimia menurut Harold Urey (1893)

Urey menyatakan zat-zat organik terbentuk dari zat-zat anorganik. Menurut Urey, zat-zat anorganik yang ada di atmosfer berupa gas karbondioksida, metana, amonia, hidrogen, dan uap air. Semua zat ini bereaksi membentuk zat organik karena energi petir.

Menurut Urey, proses terbentuknya makhluk hidup dapat dijelaskan dengan 4 tahap, yaitu:

- Tahap I : Molekul metana, amonia, hidrogen, dan uap air tersedia sangat banyak di atmosfer bumi.
- Tahap II : Energi yang diperoleh dari aliran listrik halilintar dan radiasi sinar kosmis menyebabkan zat-zat bereaksi membentuk molekul-molekul zat yang lebih besar.
- Tahap III : Terbentuk zat hidup yang paling sederhana yang memiliki susunan kimia, seperti susunan kimia pada virus.
- Tahap IV : Zat hidup yang terbentuk berkembang dalam waktu jutaan tahun menjadi organisme (makhluk hidup) yang lebih kompleks.

#### b. Teori kimia menurut Stanley Miller

Miller adalah murid Harold Urey yang berhasil membuat model alat yang digunakan untuk membuktikan hipotesis Urey. Miller memasukkan uap air, metana, amonia, gas hidrogen, dan karbondioksida ke dalam tabung percobaan. Tabung tersebut kemudian dipanasi. Untuk mengganti energi listrik halilintar ke dalam perangkat alat tersebut dilewatkan lecutan listrik bertegangan tinggi sekitar 75.000 volt. Hal ini dimaksudkan untuk meniru kondisi permukaan bumi pada waktu terjadi pembentukan zat organik secara spontan.

Dengan adanya energi listrik, terjadilah reaksi-reaksi yang membentuk zat baru. Zat-zat yang terbentuk didinginkan dan

Sumber: Encarta Library 2005

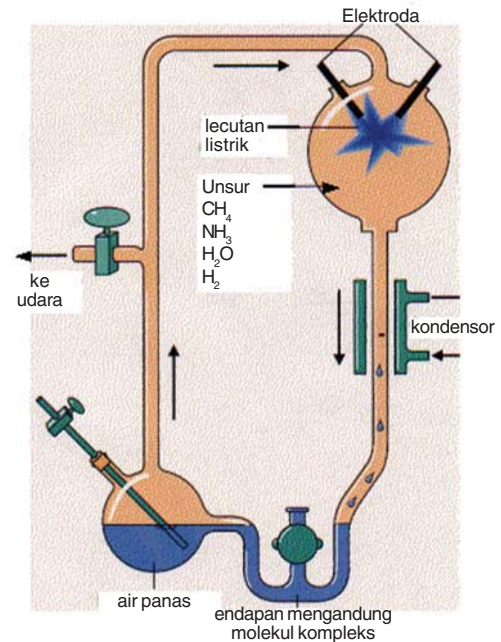


**Gambar 6.10**  
Energi petir membentuk zat organik di jaman purba

ditampung. Hasil reaksi kemudian dianalisis. Ternyata, di dalamnya terbentuk zat organik sederhana, seperti asam amino, gula sederhana seperti ribosa dan adenin. Dengan demikian, Miller dapat membuktikan bahwa zat organik dapat terbentuk dari zat anorganik secara spontan.

Sejak saat itu, perkembangan ilmu evolusi kimia makin maju dengan ditemukannya senyawa-senyawa penyusun unsur kehidupan. Salah satu peneliti bernama Melvin Calvin yang menemukan bahwa radiasi sinar dapat mengubah metana, amonia, hidrogen, dan air menjadi molekul-molekul gula, asam amino, purin dan pirimidin yang merupakan zat dasar pembentuk DNA, RNA, ATP dan ADP.

Jadi, asal-usul kehidupan menurut Teori Evolusi Kimia adalah bahwa di dalam sup prabiotik terkandung zat-zat organik, DNA, dan RNA. RNA dapat melakukan sintesis protein atas perintah DNA. Dengan demikian, di dalam sup prabiotik terdapat protein. Setelah itu, terbentuklah sel pertama. Sel tersebut hidup secara heterotrof yang mendapatkan makanan dari lingkungannya berupa zat-zat organik yang melimpah. Sel tersebut mampu membelah diri sehingga jumlahnya makin banyak. Sejak saat itu berlangsunglah Evolusi Biologi.



Sumber: Image.google.co.id

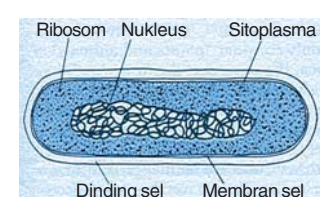
**Gambar 6.11**  
Perangkat percobaan  
Stanley Miller

Terbentuknya sel pertama kali di bumi diperkirakan terjadi sekitar 4 milyar tahun yang lalu. Sel yang terbentuk adalah sel heterotrof, yaitu sel yang memakan bahan makanan yang terdapat di sup prabiotik. Sel heterotrof ini melakukan respirasi anaerobik karena kadar oksigen waktu itu sangat rendah, tidak memiliki membran inti (prokariotik), tidak memiliki organel-organel seperti mitokondria, kloroplas, retikulum endoplasma dan mampu bereproduksi melalui pembelahan sel.

### 1. Asal-Usul Prokariotik

Sel primitif yang terbentuk pertama kali ialah sel prokariotik, yaitu sel sederhana yang tidak memiliki membran inti, hanya memiliki membran sel. Sitoplasma yang mengandung DNA, dan RNA, serta zat-zat organik dari lingkungannya sebagai makanan. Sel ini tidak mengandung mitokondria yang berfungsi menghasilkan energi. Sehingga, sel ini bersifat anaerobik. Hal ini sesuai dengan kondisi lingkungan saat itu yang miskin akan oksigen.

## D Evolusi Biologi



**Gambar 6.12**  
Sel prokariotik

Sumber: Image.google.co.id

## 2. Asal-Usul Autotrof

Sel heterotrof primitif terus berkembangbiak sehingga bahan makanan berupa bahan organik terus menipis. Kondisi demikian memaksa sel membuat makanannya sendiri melalui adaptasi terhadap lingkungannya dengan cara membran plasmanya melekok ke dalam, membentuk lembaran-lembaran fotosintetik untuk menangkap energi sinar guna membuat zat organik dari zat anorganik. Munculah sel autotrof sebagai akal bakal sel tumbuhan yang memungkinkan terjadinya fotosintesis.

Proses fotosintesis menghasilkan oksigen. Makin banyak sel autotrof, makin banyak karbondioksida yang diperlukan dan makin banyak pula oksigen yang dikeluarkan. Proses fotosintesis menyebabkan kadar gas karbondioksida di atmosfer makin berkurang. Sementara itu kadar oksigen semakin bertambah. Terbentuknya sel autotrof ini diperkirakan berlangsung selama 2 milyar tahun yang lalu.

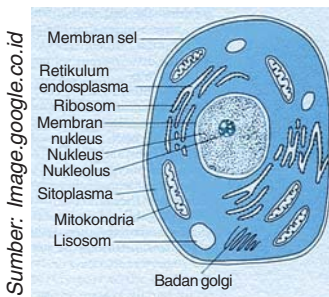
## 3. Asal-Usul Sel Eukariotik

Organisme eukariotik diduga muncul sekitar 1,5 milyar tahun yang lalu. Organisme eukariotik diduga berasal dari organisme prokariotik yang melakukan evolusi, karena dalam sel prokariotik terdapat DNA. DNA merupakan materi genetik yang menentukan sifat organisme sehingga perlu dilindungi. Membran sel mengalami pelekukan ke dalam sehingga mengelilingi DNA. Membran bagian dalam bersatu membentuk membran nukleus dalam. Sedangkan, bagian luar menjadi membran nukleus luar. Jadi membran yang mengelilingi DNA merupakan membran rangkap.

Hipotesis ini berdasarkan kenyataan saat ini bahwa membran nukleus merupakan membran rangkap, dan membran luar nukleus memiliki hubungan secara langsung dengan membran sel melalui Retikulum Endoplasma (RE). Hubungan ini merupakan sisa-sisa membran plasma yang melekok ke dalam. Dengan terbentuknya membran nukleus, terbentuklah sel eukariotik yang merupakan hasil evolusi dari sel prokariotik.

## 4. Asal-Usul Mitokondria

Mitokondria merupakan organel pernapasan sel. Kamu telah mengetahui bahwa sel pertama yang terbentuk adalah sel heterotrof yang merupakan sel anaerobik. Mengingat energi yang dihasilkan kecil, organisme berevolusi agar dihasilkan energi yang cukup banyak dengan cara melakukan respirasi secara aerobik melalui daur krebs. Jadi, respirasi aerobik muncul setelah respirasi anaerobik. Energi yang dihasilkan dari kedua respirasi dapat kamu lihat pada respirasi berikut ini.



**Gambar 6.13**  
Sel eukariotik antara nukleus dan membran sel terdapat RE

Respirasi Anaerobik:



Respirasi Aerobik:



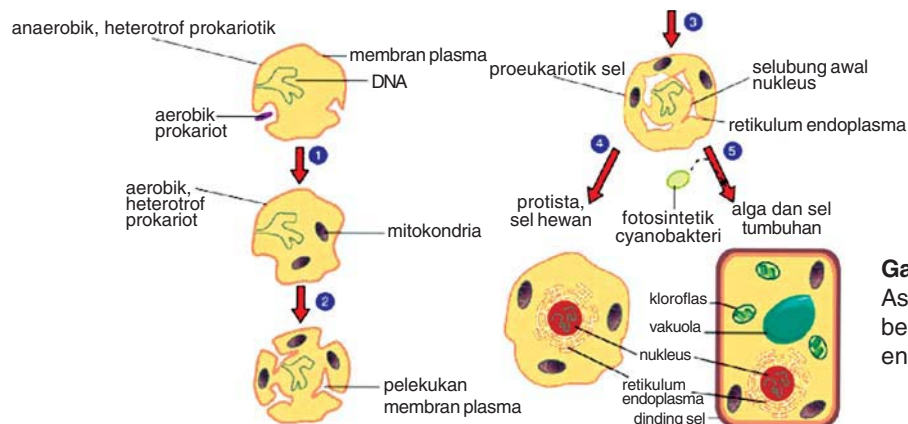
Jadi, yang terbentuk pertama kali adalah sel prokariotik anaerobik yang berevolusi menjadi sel prokariotik aerobik.

Dengan demikian, terdapat beberapa macam sel, yaitu sel prokariotik anaerobik, sel prokariotik aerobik, dan sel eukariotik anaerobik. Selanjutnya, sel eukariotik anaerobik "menelan" sel prokariotik aerobik. Sel prokariotik itu hidup di dalam sel eukariotik dan melakukan simbiosis mutualisme sebagai sel inang, sel eukariotik mendapatkan energi dari sel prokariotik, sedangkan sebagai simbion, sel prokariotik mendapatkan asam piruvat dari sel inang.

Dalam perkembangan selanjutnya, sel prokariotik tersebut berubah menjadi mitokondria, yaitu organel penghasil energi yang terdapat di dalam sel. Simbiosis antara sel prokariotik aerobik dengan sel eukariotik anaerobik yang demikian itu dikenal sebagai *endosimbiosis*. Dasar dari dugaan ini dikarenakan pada saat ini:

- Mitokondria memiliki dua membran, yaitu membran luar dan membran dalam. Membran luar diduga berasal dari membran sel inang yang melekok ke dalam ketika menelan sel bakteri aerobik. Sedangkan, membran dalam diduga berasal dari membran bakteri aerobik.
- Masih adanya bakteri aerobik yang memiliki mesosom sebagai penghasil energi. Diduga, sel prokariotik aerobik mirip dengan bakteri aerobik.
- DNA mitokondria mirip dengan DNA prokariotik.
- Polipeptida yang disintesis dalam mitokondria digunakan sendiri oleh mitokondria tersebut. Polipeptida ini berbeda dengan Polipeptida sel inang.
- Mitokondria mampu membelah diri seperti halnya bakteri.

Untuk lebih memahami tentang asal-usul sel eukariotik, mari cermati Gambar 6.14 di bawah ini.

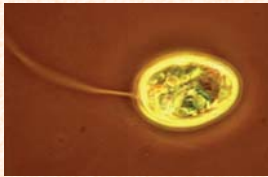


**Gambar 6.14**  
Asal-usul sel eukariotik berdasarkan hipotesis endosimbiosis

Sumber: Image.google.co.id



## 5. Asal-Usul Kloroplas



Kenyataan saat ini bahwa perbedaan antara hewan tingkat rendah dan tumbuhan tingkat rendah tidak jelas. Hal ini menyebabkan para pakar berpendapat bahwa hewan dan tumbuhan bersel satu berasal satu, yaitu berasal dari nenek moyang yang sama. Bentuk asal yang sama ini merupakan asal dari *flageliata* yang ada saat ini. Contoh *flageliata* yang memiliki sifat seperti hewan dan tumbuhan adalah *Euglena*.

(Sumber: Encarta, 2005)

Seperti halnya mitokondria, kloroplas juga terbentuk melalui endosimbiosis. Pada awal pertengahan kehidupan telah terbentuk sel autotrof yang diduga mirip dengan *Cyanobakteri* (bakteri biru) pada masa sekarang ini. Sel purba heterotrof yang bernapas secara aerobik dan memiliki membran inti, menelan sel autotrof yang mampu berfotosintesis.

Sel autotrof yang hidup di dalamnya mendapatkan karbon dioksida dan air dari sel inangnya, sementara itu sel inang mendapatkan oksigen dan hasil-hasil fotosintesis. Sel autotrof ini akhirnya menjadi kloroplas. Terbentuklah sel berkloroplas, berinti, memiliki mitokondria, yang merupakan cikal bakal sel tumbuhan.

Hipotesis endosimbiosis kloroplas ini dikemukakan berdasarkan kenyataan pada saat ini, bahwa:

- Kloroplas memiliki membran rangkap dan membran luarnya mirip dengan struktur membran sel.
- Ada beberapa fotosintetik (cyanobakteria) yang memiliki membrane fotosintetik, yang mirip dengan tilakoid pada kloroplas.
- Di dalam kloroplas terdapat DNA yang juga dijumpai pada bakteri fotosintetik.
- Kloroplas dapat bertambah banyak melalui pembelahan, seperti halnya bakteri.



Kamu telah mempelajari asal-usul kehidupan. Hal-hal penting apa sajakah yang harus diketahui dalam mempelajarinya? Catatlah dalam bentuk rangkuman. Tuliskan pula daftar istilah tentang asal-usul kehidupan yang menurutmu sulit. Gunakanlah kamus biologi untuk mencari artinya. Kemudian, tukarlah hasil rangkumanmu dengan rangkuman teman. Berikan masukan dan saran pada rangkuman masing-masing.

## M a r i B e r k o m p e t e n s i

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat di setiap soal-soal berikut.

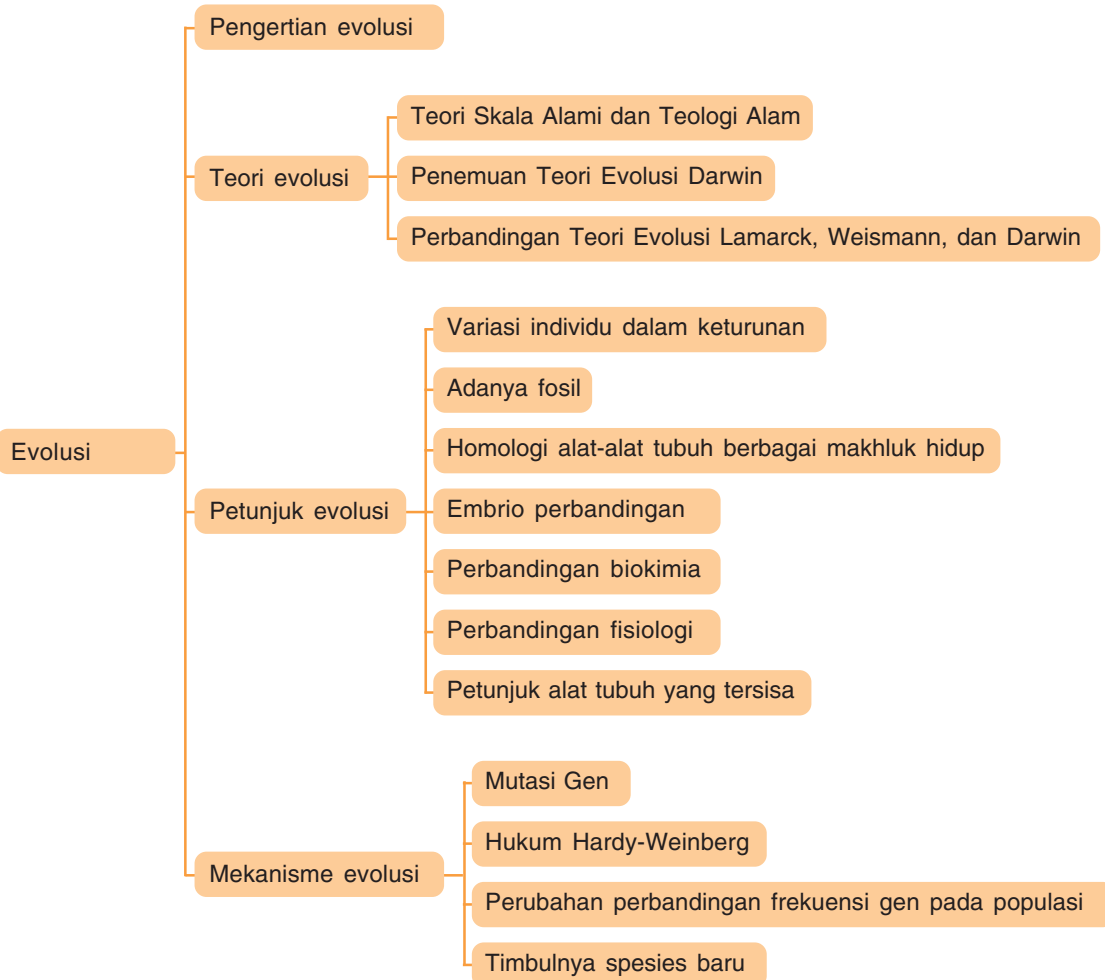
1. Paham Abiogenesis menyatakan bahwa ....
  - a. makhluk hidup berasal dari benda mati
  - b. makhluk hidup berasal dari telur
  - c. setiap telur berasal dari makhluk hidup
  - d. setiap makhluk hidup akan berkembang biak
  - e. makhluk hidup berasal dari makhluk hidup
2. Semboyan paham biogenesis, antara lain *omne vivum ex vivo*, artinya ....
  - a. semua kehidupan berasal dari benda mati
  - b. semua telur akan berkembang menjadi makhluk hidup
  - c. semua kehidupan berasal dari kehidupan sebelumnya
  - d. semua makhluk hidup berasal dari telur
  - e. terjadinya makhluk hidup dari telur secara spontan
3. Berikut adalah tokoh-tokoh biologi yang sangat terkenal:
  - (1) Louis Pasteur
  - (2) Aristoteles
  - (3) Stanley Miller
  - (4) Francesco Redi
  - (5) Lazzaro Spallanzani
  - (6) John Needham
 Tokoh-tokoh tersebut yang mendukung paham Abiogenesis adalah ....
  - a. (1), (3), (6)
  - b. (2), (4), (5)
  - c. (1), (4), (5)
  - d. (3), (5), (6)
  - e. (2), (3), (6)
4. Sedangkan, tokoh yang mendukung paham Biogenesis adalah ....
  - a. (1), (3), (6)
  - b. (2), (4), (5)
  - c. (1), (4), (5)
  - d. (3), (5), (6)
  - e. (2), (3), (6)
5. Yang menyatakan bahwa di atmosferlah pertama kali terjadinya makhluk hidup ialah ....
  - a. Stanley Miller
  - b. Aristoteles
  - c. Harold Urey
  - d. Lazzaro Spallanzani
  - e. Louis Pasteur
6. Abiogenesis sama artinya dengan ....
  - a. *Omne vivum ex vivo*
  - b. *Generatio spontanea*
  - c. *Omnis cellula e cellula*
  - d. *Omne ovum ex ovo*
  - e. *Biogenesis*
7. Persamaan percobaan Louis Pasteur dengan Spallanzani adalah bahwa keduanya ....
  - a. menggunakan bahan yang sama
  - b. diudara banyak terdapat zat hidup
  - c. kebenaran teori abiogenesis
  - d. ketidakbenaran teori abiogenesis
  - e. menggunakan bahan yang sama yaitu daging
8. Orang yang mengemukakan teori bahwa zat hidup yang pertama terjadi berasal dari reaksi kimia, antara lain metana, ammonia, hydrogen, dan air ialah ....
  - a. Harold Urey
  - b. Louis Pasteur
  - c. Francesco Redi
  - d. Stanley Miller
  - e. Lazzaro Spallanzani

9. Radiasi pertama dari evolusi biologi adalah ....
  - a. Alga dan Protozoa
  - b. Protozoa dan Spongesbob
  - c. Alga dan Coelenterata
  - d. Spongesbob dan Coelenterata
  - e. Echinodermata dan Chordata
10. Nenek moyang invertebrata adalah....
  - a. Cnidaria
  - b. Protista yang hidup di laut
  - c. Echinodermata
  - d. Protozoa yang hidup di laut
  - e. Porifera yang hidup di laut
11. Teori tentang asal-usul kehidupan yang menyatakan bahwa kehidupan di planet bumi datang dari mana saja, disebut ....
  - a. Teori Kosmozoan
  - b. Teori Generatio Spontanea
  - c. Teori Kreasi Khas
  - d. Teori Abiogenesis
  - e. Teori Biogenesis
12. Ciri bentuk pertama dari tumbuhan adalah ....
  - a. berkembangnya flagela dan klorofil
  - b. hilangnya flagela dan klorofil
  - c. hilangnya flagela dan berkembangnya klorofil
  - d. berkembangnya flagela dan blastea
  - e. berkembangnya flagela dan hilangnya klorofil
13. Menurut hasil penyelidikan ilmuwan, atmosfer purba kaya akan gas-gas, kecuali ....
  - a. hidrogen
  - b. nitrogen
  - c. oksigen
  - d. karbondioksida
  - e. helium
14. Tokoh berikut ini merupakan tokoh yang dikenal dalam evolusi kimia, kecuali ....
  - a. A. I Oparin
  - b. Stanley Miller
  - c. Louis Pasteur
  - d. Harold Urey
  - e. Melvin Calvin
15. Menurut Harold Urey, terbentuknya makhluk hidup melalui proses-proses berikut, kecuali ....
  - a. tersedianya molekul  $\text{CH}_4$ , uap air,  $\text{NH}_3$ , dan hydrogen di atmosfer
  - b. dalam jangka waktu yang lama, zat hidup berkembang menjadi sejenis makhluk hidup
  - c. terbentuknya zat hidup sederhana yang strukturnya menyerupai virus
  - d. terbentuknya zat hidup berupa virus yang dapat berkembang menjadi makhluk lebih kompleks
  - e. adanya bantuan energi aliran listrik halilintar dan radiasi sinar kosmis

**B. Jawablah soal-soal berikut dengan singkat dan jelas.**

1. Apa yang dimaksud dengan teori Abiogenesis? Tuliskan tokoh-tokohnya.
2. Apa yang dimaksud dengan teori Biogenesis? Tuliskan tokoh-tokohnya.
3. Apa sajakah yang membedakan percobaan yang dilakukan Francisco Redi dan percobaan Lazzaro Spallanzani?
4. Selain teori Abiogenesis dan Biogenesis, teori apalagi yang menerangkan asal-usulnya kehidupan?
5. Jelaskan teori terbentuknya makhluk hidup menurut Harold Urey.

Peta Konsep





Masih ingatkah kamu, apa yang dimaksud dengan evolusi? Di alam terjadi dua macam evolusi, yaitu mikro evolusi dan makro evolusi. Mikro evolusi adalah evolusi secara bertahap yang terjadi pada frekuensi gen yang menimbulkan perubahan fenotip organisme. Sedangkan, makro evolusi adalah evolusi yang meliputi asal-usul organisme baru, jenis-jenis organisme yang menempati suatu habitat, arah evolusi, dan terjadinya kepunahan makhluk hidup.

Berdasarkan data atau petunjuk yang ada, makhluk hidup (hewan dan tumbuhan) telah menghuni bumi jutaan tahun yang lampau. Jenis-jenis yang hidup pada masa lampau tersebut berbeda dengan jenis yang hidup pada masa sekarang ini. Bahkan, beberapa jenis hewan dan tumbuhan purba saat ini telah punah, tinggal fosilnya saja, contohnya Dinosaurus.

Diperkirakan, hewan dan tumbuhan pertama kali hidup di laut. Melalui proses yang amat lama, tumbuhan dan hewan tersebut menyebar ke darat. Perubahan lingkungan ini otomatis berpengaruh kepada cara hidupnya. Berarti, dalam jangka waktu yang lama dan perlahan-lahan makhluk tersebut mengalami perubahan atau evolusi. Setelah mempelajari bab ini, kamu akan mengetahui tentang evolusi biologi dan kecenderungan baru tentang teori evolusi, mari ikuti uraiannya.

## A Pengertian Evolusi

Evolusi adalah suatu perubahan pada makhluk hidup yang terjadi secara berangsur-angsur dalam jangka waktu yang lama sehingga terbentuk spesies baru. Sedangkan, berdasarkan ilmu biologi, evolusi merupakan cabang biologi yang mempelajari sejarah asal-usul makhluk hidup dan keterkaitan genetik antara makhluk hidup satu dengan yang lain. Evolusi biologi mencakup dua peristiwa, yaitu:

- 1) evolusi anorganik merupakan evolusi mengenai asal-usul makhluk hidup yang ada di muka bumi, berdasarkan fakta dan penalaran teoritis;
- 2) evolusi organik (evolusi biologis) merupakan evolusi filogenetis, yaitu mengenai asal-usul spesies dan hubungan kekerabatannya.

### 1. Hubungan Berbagai Ilmu dengan Evolusi

Pemahaman evolusi didukung oleh cabang-cabang ilmu lain, di antaranya: *Paleontologi* (ilmu yang mempelajari fosil), geologi, morfologi, anatomi, embriologi, biokimia, dan genetika. Misalnya, geologi, ilmu yang mempelajari susunan dan struktur batu-batuan dapat menjelaskan umur suatu fosil yang ditemukan pada struktur batuan tertentu.

## 2. Penyebab Terjadinya Evolusi

### a. Adaptasi dan seleksi alam

Lingkungan selalu berubah dari waktu ke waktu. Perubahan lingkungan mendorong makhluk hidup yang tinggal di dalam lingkungan tersebut melakukan adaptasi atau penyesuaian diri. Adaptasi dilakukan makhluk hidup dengan tujuan mempertahankan kelangsungan hidupnya. Apabila gagal beradaptasi, maka makhluk hidup tersebut akan punah. Makhluk hidup adaptif merupakan makhluk hidup yang mampu beradaptasi terhadap lingkungannya. Contohnya, populasi kupu-kupu *Biston betularia* di Inggris.

**Tabel 7.1** Adaptasi pada *Biston betularia* di Inggris

Inggris	<i>Biston Betularia</i>	
	Bersayap Cerah	Bersayap Gelap
Sebelum revolusi industri	Populasinya > yang bersayap gelap	Populasinya < bersayap cerah
Sesudah revolusi industri	Populasinya < yang bersayap gelap	Populasinya > yang bersayap cerah

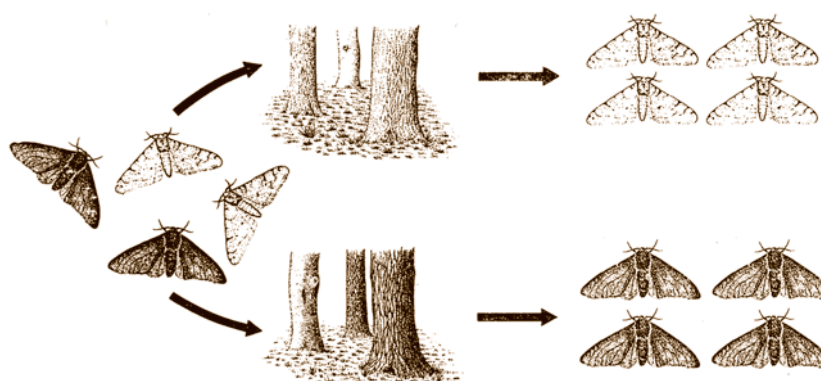
Dari tabel di atas tampak adanya perubahan populasi kupu-kupu. Diduga hal ini terjadi, karena sebelum revolusi industri lingkungan masih cerah sehingga kupu-kupu bersayap cerah lebih adaptif daripada kupu-kupu bersayap gelap. Sebaliknya, setelah revolusi industri, lingkungan lebih gelap oleh jelaga atau polusi. Sehingga, kupu-kupu bersayap gelap lebih adaptif dengan lingkungannya, sedangkan kupu-kupu bersayap cerah tidak adaptif akibatnya mudah ditangkap oleh predator. Sehingga dapat disimpulkan bahwa adaptasi terhadap lingkungan merupakan salah satu mekanisme seleksi alam.



Diskusikan dengan teman sekelompokmu. Apa hubungan antara adaptasi dengan seleksi alam? Coba kamu cari literatur dan lengkapi Tabel berikut ini.

**Tabel 7.2** Macam-macam Adaptasi

No	Adaptasi	Definisi	Contoh
1.	Struktur		
2.	Fisiologi		
3.	Tingkah laku		
4.	Reproduksi		



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 7.1** Dua macam kupu-kupu (sepasang-sepasang) dilepaskan ke dua daerah, A dan B

Sumber: Encarta Library 2005



Gambar 7.2  
Kaktus

Adaptasi pada tumbuhan, misalnya kaktus yang hidup pada kondisi panas terik di gurun mempunyai lapisan lilin yang tebal, daun-daunnya mengalami modifikasi menjadi duri atau daun-daun kecil untuk mengurangi penguapan air. Batang tumbuhan kaktus mampu menyimpan air dan memiliki klorofil untuk fotosintesis. Akar tumbuhan kaktus tersebar meluas di bawah permukaan tanah untuk mempermudah penyerapan air.

Kedua contoh di atas menunjukkan bahwa alam (lingkungan) menyeleksi makhluk hidup di dalamnya. Seleksi alam memperlihatkan hanya makhluk hidup yang adaptif dengan lingkungannya yang dapat bertahan hidup.

Seleksi alam akan menguntungkan spesies makhluk hidup yang mempunyai banyak variasi (genetik) pada tiap generasi, faktor-faktor lingkungan akan menyeleksi variasi tertentu. Misalnya, kasus adanya dua warna pada *Biston* lebih menguntungkan kupu-kupu tersebut, dibandingkan apabila *Biston* tidak mempunyai variasi warna sayap.

### b. Seleksi buatan

Kegiatan ini bertujuan untuk meningkatkan hasil budidaya hewan dan tumbuhan yang dianggap akan lebih baik produksi, mutu, maupun daya tahannya. Usaha seleksi ini diikuti dengan persilangan yang mengakibatkan proses evolusi berlangsung dalam jangka waktu relatif singkat. Usaha ini dilakukan di bidang pertanian maupun peternakan. Contohnya, budidaya varietas kedelai Muria.

## B

### Teori Evolusi

Charles Darwin bukanlah orang yang pertama kali mengemukakan *teori evolusi*. Sebelumnya telah ada tokoh-tokoh yang pernah mengemukakan teori evolusi. Cermatilah.

#### 1. Teori Skala Alami dan Teologi Alam

Teori Skala Alami dan Teologi Alam yang dikemukakan oleh **Plato** (427 - 347 SM) dan **Aristoteles** (384 - 322 SM). Plato percaya adanya dua dunia, yaitu dunia yang ideal dan abadi, serta dunia maya (khayal) yang tidak sempurna. Kedua dunia tersebut dapat dipahami dengan menggunakan alat indera manusia. Menurutnya, evolusi akan mengubah dunia yang organismenya sudah ideal dan teradaptasi sempurna dengan lingkungannya. Sebaliknya, Aristoteles menganut Teori Skala Alami yang membahas bahwa semua bentuk kehidupan disusun menurut suatu skala yang kompleksitasnya meningkat.

Sumber: Image.google.co.id



Gambar 7.3  
Plato

Tahun 1700-an, perkembangan ilmu Biologi di Eropa dan Amerika didominasi oleh *Teori Teologi Alam*. Teologi alam merupakan suatu filosofi yang bertujuan untuk menemukan rencana Tuhan dengan mempelajari alam. Ahli-ahli teologi melihat adaptasi organisme sebagai bukti bahwa Tuhan telah mendesain tiap-tiap spesies dengan suatu tujuan tertentu.

**Carolus Linnaeus** (1707 - 1778), seorang ahli fisika dan botani dari Swedia yang melakukan pencarian tingkat keanekaragaman kehidupan. Linnaeus merupakan penemu taksonomi. Taksonomi merupakan cabang biologi yang mempelajari penamaan dan pengklasifikasian berbagai organisme.

Linnaeus mengadopsi suatu sistem untuk mengelompokkan spesies-spesies ke dalam suatu tingkatan kategori tertentu yang berjenjang. Bagi Linnaeus, pengelompokan spesies yang sama secara bersama-sama menunjukkan tidak adanya hubungan evolusi.

## 2. Penemuan Teori Evolusi Darwin

**Charles Robert Darwin** (1809-1882) yang dikenal sebagai Bapak Teori Evolusi lahir di daerah Inggris bagian barat. Teori Evolusi Darwin tidak muncul begitu saja, namun berdasarkan hasil perjalanannya dengan kapal Beagle ke kepulauan Galapagos dan studi terhadap berbagai disiplin ilmu.

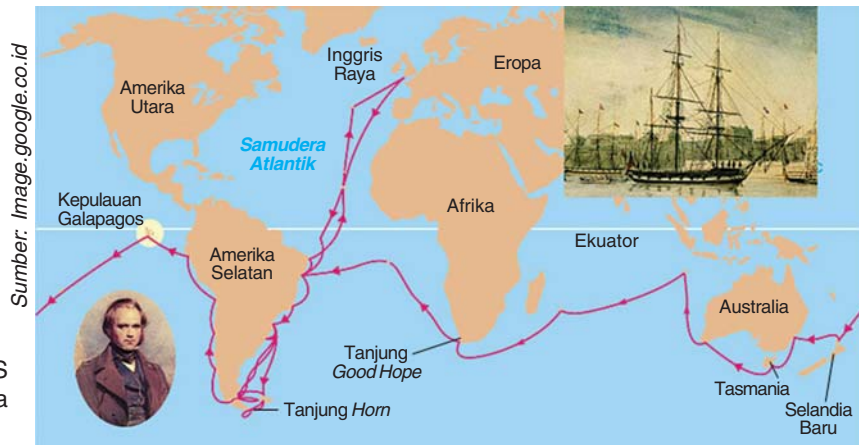
### a. Pelayaran Darwin ke Kepulauan Galapagos

Saat berlayar dari Inggris menggunakan kapal HMS Beagle, Darwin berusia 22 tahun (bulan Desember 1831). Tujuan utama pelayaran tersebut adalah untuk memetakan pesisir pantai Amerika Selatan yang masih belum jelas.

Pada saat awak kapal sibuk memetakan pesisir pantai, Darwin turun ke pantai, mengamati, dan mengoleksi ratusan spesimen fauna dan flora Amerika Selatan yang beraneka ragam dan endemik.

Selain itu, saat kapal mengelilingi benua Amerika, Darwin mengamati berbagai adaptasi tumbuhan dan hewan yang menempati hutan Brazil, bentangan padang rumput di Argentina, daratan terpencil Tierra del Fuego dekat Argentina dan pegunungan Andes.





**Gambar 7.3**  
Charles Darwin dan HMS Beagle yang membawanya (1831) ke pulau Galapagos

Setelah mencatat flora dan fauna di berbagai wilayah Amerika Selatan, Darwin menyimpulkan bahwa flora dan fauna di Amerika Selatan mempunyai karakteristik khusus yang sangat berbeda dengan flora dan fauna di Eropa. Darwin juga mengatakan bahwa flora dan fauna di daerah beriklim sedang mempunyai hubungan yang lebih dekat dengan spesies yang hidup di wilayah tropis benua tersebut, dibandingkan spesies di daerah beriklim sedang di Eropa.

Fauna yang paling membingungkan Darwin ditemukan di *Kepulauan Galapagos*, yaitu kepulauan yang berada di sebelah barat pesisir Amerika Selatan. Pada umumnya, spesies fauna di Galapagos tidak ditemukan hidup di tempat lain, meskipun ada kesamaan dengan hewan di Amerika Selatan.

Setelah mengadakan pengamatan, diantaranya Darwin menemukan 14 jenis burung finch di Galapagos. Meskipun jenis-jenis tersebut agak mirip, namun terlihat sebagai spesies yang berbeda, yang menunjukkan hubungan dengan burung Finch yang ada di Amerika Selatan.

Sumber: Encarta Library 2005



**Gambar 7.4**  
Jenis-jenis burung finch di Galapagos

Perbedaan utama burung finch, yaitu pada bentuk dan ukuran paruhnya yang merupakan adaptasi terhadap makanan tertentu. Kelompok pertama burung Finch yang hidup di tanah (*Geospiza magnirostris*) mempunyai paruh yang besar yang teradaptasi untuk memecahkan biji, kelompok kedua finch (*Camarhynchus pallidus*) yang menggunakan suatu duri kaktus atau ranting kecil sebagai alat untuk mengorek semut atau serangga lainnya, dan kelompok ketiga adalah kelompok kecil finch (*Camarhynchus parvulus*) yang menggunakan paruhnya untuk menangkap serangga.

## b. Teori Evolusi Darwin

Charles Darwin mengemukakan teori evolusinya secara lengkap dalam buku yang berjudul *On The Origin of Species by Means of Natural Selection* (Asal mula spesies yang terjadi melalui seleksi alam) yang diterbitkan pada 24 November 1859. Dalam buku ini dikemukakan dua teori pokok, yaitu:

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

Dua teori utama Darwin merupakan hasil pengamatan Darwin sebagai berikut:

*Pengamatan ke-1*, setiap spesies mempunyai potensial fertilisasi yang besar sehingga ukuran populasinya akan meningkat secara eksponensial bila setiap individu yang dilahirkan berhasil melakukan percobaan.

*Pengamatan ke-2*, ukuran populasi cenderung menjadi stabil kecuali fluktuasi musiman.

*Pengamatan ke-3*, sumber daya alam terbatas.

*Pengamatan ke-4*, individu-individu populasi sangat bervariasi dalam hal ciri-ciri tubuh, namun tidak ada dua individu yang benar-benar sama.


*Pengamatan ke-5*, kebanyakan variasi diwariskan pada keturunannya.

Setelah Darwin menyelesaikan perjalanannya dan kembali ke Inggris, ia banyak mempelajari geologi, terutama tentang fosil. Buku yang berpengaruh besar terhadap Darwin adalah *Principles of Geology* (Prinsip-Prinsip Geologi) karangan Charles Lyell.

Setelah mempelajari buku tersebut, Darwin berkesimpulan bahwa:

- 1) deretan fosil yang terdapat di batuan muda berbeda dengan fosil pada batuan yang lebih tua.
- 2) perbedaan itu disebabkan adanya perubahan secara perlahan-lahan.

Darwin juga mempelajari buku mengenai hubungan ekonomi dan penduduk dunia di antaranya buku karangan Thomas R. Malthus (1766-1834) yang berjudul *An Essay on The Principle of Population*, dimana Malthus berpendapat bahwa kenaikan jumlah penduduk cenderung lebih cepat daripada kenaikan produksi pangan. Oleh karena itu, timbul masalah bagi manusia dalam menyelamatkan diri dari bahaya kelaparan.



**Mari Berdiskusi**  
 Apa pendapatmu tentang teori evolusi Lamarck dan Darwin?  
 Diskusikan dengan teman sebangkumu.

### 3. Perbandingan Teori Evolusi Lamarck, Weismann, dan Darwin

#### a. Teori Evolusi Lamarck Vs Teori Evolusi Darwin

Teori Evolusi Lamarck berisi dua gagasan utama, yaitu:

1. Gagasan *use and disuse* (digunakan dan tidak digunakan) bagian tubuh yang digunakan secara intensif untuk menghadapi suatu lingkungan tertentu akan menjadi besar dan kuat. Sementara itu, bagian tubuh yang jarang digunakan akan mengalami kemunduran.
2. Sifat atau ciri-ciri dari lingkungan dapat diwariskan kepada keturunannya.

Contoh teori ini adalah evolusi pada jerapah berleher panjang. Menurut Lamarck, nenek moyang jerapah sebenarnya berleher pendek. Jerapah yang berleher pendek menjulurkan lehernya untuk mencapai makanannya pada daun-daun cabang pohon yang tinggi. Oleh karena itu, leher jerapah menjadi panjang. Sifat leher jerapah yang panjang tersebut akan diwariskan pada keturunannya. Dengan demikian, semua jerapah berleher panjang.

Sebaliknya, menurut Darwin, evolusi terjadi melalui seleksi alam dengan adanya adaptasi makhluk hidup. Darwin berpendapat bahwa nenek moyang jerapah terdiri atas jerapah yang berleher panjang dan jerapah berleher pendek. Karena makanan jerapah adalah daun-daunan di pohon yang tinggi, maka hanya jerapah berleher panjang yang dapat menjangkaunya. Jerapah berleher pendek tidak dapat menjangkau daun-daun di pohon yang tinggi tersebut sehingga kekurangan makanan dan akhirnya mati.

**Gambar 7.5**

Perbandingan proses evolusi jerapah menurut Lamarck dan Darwin

#### TEORI LAMARCK



Moyang jerapah mungkin berleher pendek



Jerapah-jerapah ini selalu berusaha mencapai daun-daun yang tinggi, sehingga lehernya seringkali "tertarik" ke arah memanjang



Akhirnya, keturunan berikutnya, leher jerapah lebih panjang dari moyangnya

#### TEORI DARWIN



Panjang leher jerapah bervariasi ada yang pendek dan ada yang panjang



Yang berleher pendek mati. Hanya jerapah berleher panjang saja yang menghasilkan keturunan baru



Hanya jerapah berleher panjang saja yang mempunyai kelangsungan hidup

### b. Teori Darwin Vs Teori Weismann

Sebenarnya, Weismann tidak menentang pandangan Darwin, tetapi lebih menjelaskan pandangan Darwin mengenai seleksi alam.

Weismann berpendapat bahwa perubahan sel tubuh karena pengaruh lingkungan tidak akan diwariskan kepada keturunannya. Evolusi menyangkut bagaimana pewarisan gen-gen melalui sel-sel kelamin, artinya evolusi adalah gejala seleksi alam terhadap faktor-faktor genetika.

Sifat leher panjang atau pendek jerapah dikendalikan oleh gen. Gen untuk leher panjang bersifat dominan. Sedangkan, gen untuk leher pendek adalah resesif. Karena jerapah berleher pendek tidak mampu beradaptasi dengan lingkungan, maka jerapah ini akan punah.

### c. Teori Evolusi Lamarck Vs Teori Evolusi Weismann

Lamarck berpendapat bahwa makhluk hidup beradaptasi terhadap lingkungannya melalui perubahan pada organ tubuhnya. Kemudian, sifat atau fungsi organ tersebut diwariskan kepada keturunannya.

Menurut Lamarck, nenek moyang menjangan tidak bertanduk. Namun, dikarenakan sering mengadu kepala, maka tanduk tumbuh di kepala menjangan.

Teori Lamarck ditentang oleh Weismann. Weismann berpendapat bahwa perubahan sel-sel tubuh akibat pengaruh lingkungan tidak diwariskan pada keturunannya.

Weismann membuktikan teorinya dengan mengawinkan dua ekor tikus yang masing-masing ekornya telah dipotong. Kemudian, anak-anak yang sudah dewasa dipotong ekornya dan dikawinkan dengan sesamanya. Hasilnya tetap anak-anak tikus yang berekor. Percobaan ini dilakukan hingga 21 generasi tikus dan hasilnya tetap sama.

Benarkah evolusi itu ada? Apa yang menjadi petunjuk adanya evolusi itu? Evolusi dapat dilihat dari dua segi, yaitu sebagai proses historis, dan bagaimana proses itu terjadi. Untuk menunjukkan bukti bahwa evolusi itu ada, kamu dapat melakukan pendekatan terhadap kenyataan saat ini.

Beberapa kenyataan tersebut, adalah:

- 1) adanya variasi di antara individu-individu dari suatu keturunan
- 2) adanya fosil di berbagai lapisan bumi
- 3) adanya homologi organ-organ pada makhluk hidup

## C

### Petunjuk Evolusi



- 4) adanya embriologi perbandingan
- 5) adanya perbandingan fisiologi
- 6) adanya petunjuk biokimia
- 7) adanya sisa alat-alat tubuh

Untuk lebih memahami, mari cermati uraian berikut ini.

## 1. Variasi Individu dalam Satu Keturunan

Di dunia ini tidak dijumpai dua individu yang identik sama. Bahkan anak kembar pun pasti mempunyai suatu perbedaan. Jadi, antara individu dalam satu spesies pun terdapat variasi. Hal ini terjadi, karena pengaruh berbagai faktor, seperti suhu, tanah, dan makanan.

Seleksi terhadap jenis hewan dan tumbuhan selama bertahun-tahun menghasilkan varian yang jauh berbeda dengan nenek moyangnya.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa adanya variasi merupakan petunjuk adanya evolusi yang menuju terbentuknya spesies-spesies baru.

## 2. Adanya Fosil

Fosil berasal dari bahasa Latin *fossilis*, artinya *menggali*. Istilah fosil diartikan sebagai sisa-sisa binatang dan tumbuhan yang telah membatu.

Fosil merupakan catatan sejarah penting sebagai petunjuk adanya evolusi. Dengan membandingkan struktur tubuh hewan masa lampau yang telah menjadi fosil dengan hewan sekarang dapat disimpulkan bahwa keadaan lingkungan di masa lampau berbeda dengan sekarang.

Tokoh yang mempelajari fosil dan hubungannya dengan evolusi adalah:

- a) **Leonardo da Vinci** (Italia 1452-1519). Orang yang pertama kali berpendapat fosil merupakan bukti adanya makhluk hidup di masa lampau.
- b) **George Cuvier** (Perancis 1769-1832) merupakan ahli anatomi perbandingan. Ia mengadakan studi perbandingan antara fosil-fosil dari berbagai lapisan bumi dan makhluk hidup yang ada sekarang. Cuvier menyimpulkan bahwa pada masa tertentu telah diciptakan makhluk-makhluk hidup yang berbeda dari masa ke masa. Setiap masa diakhiri kehancuran alam. Paham ini dikenal dengan *katakklisma*.
- c) Darwin mengatakan bahwa makhluk hidup pada lapisan bumi tua mengadakan perubahan bentuk untuk menyesuaikan diri dengan lapisan bumi yang lebih muda. Oleh sebab itu, fosil pada lapisan bumi muda berbeda dengan fosil di lapisan bumi tua.

Sumber: Image.google.co.id



**Gambar 7.6**  
Leonardo da Vinci

Sumber: Image.google.co.id



**Gambar 7.7**  
George Cuvier

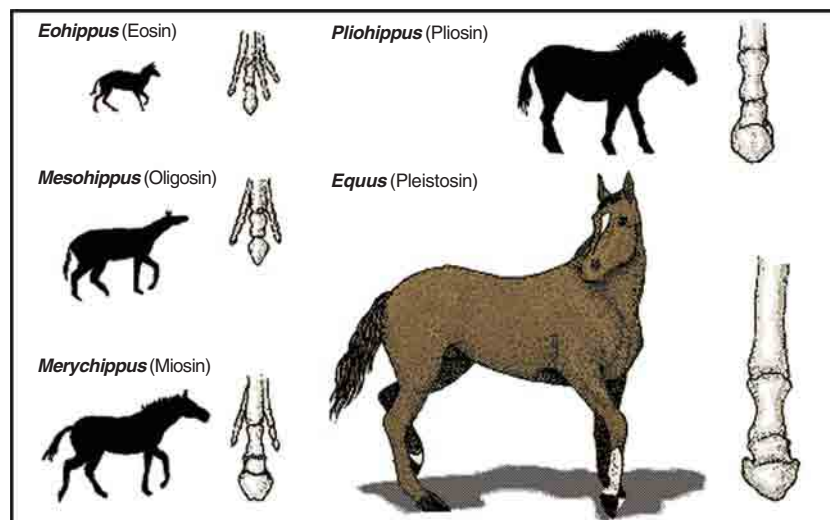
Fosil-fosil jarang ditemukan dalam keadaan lengkap (utuh), umumnya merupakan suatu bagian atau beberapa bagian tubuh makhluk hidup. Faktor-faktor yang menyebabkan jarang ditemukan fosil dalam keadaan lengkap, yaitu:

- 1) terjadinya lipatan batuan bumi;
- 2) pengaruh air, angin, dan bakteri pembusuk;
- 3) hewan pemakan bangkai;
- 4) jenis organisme, ada organisme yang tidak mungkin menjadi fosil, misalnya *Amoeba*;
- 5) keadaan lingkungan yang tidak memungkinkan suatu bagian tubuh organisme menjadi fosil.

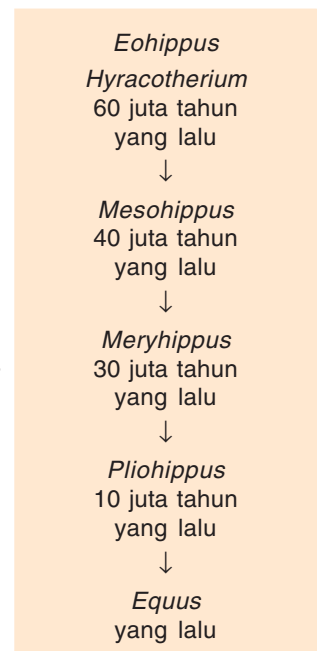
**a. Penemuan fosil kuda**

Fosil paling lengkap di berbagai lapisan bumi adalah hasil temuan penyidik Amerika, Marsh, dan Osborn berupa fosil kuda. Perubahan yang ditunjukkan fosil-fosil kuda merupakan petunjuk kebenaran evolusi, yaitu perubahan secara berangsur-angsur dalam jangka waktu lama yang disebabkan oleh pada setiap zaman geologi ditemukan fosil-fosilnya secara lengkap. Fosil jenis kuda pertama diperkirakan hidup puluhan juta tahun yang lalu.

Kuda pertama hidup kira-kira 60 juta tahun yang lalu pada zaman Eosin. Oleh para ahli, kuda pertama ini diberi nama *Hyracotherium* (*Eohippus*). Dari kerangka fosil diketahui bahwa kuda ini hanya sebesar kucing. Jumlah jari kaki belakangnya tiga. Jika dibandingkan *Hyracotherium* (*Eohippus*) dengan *Equus* (kuda zaman sekarang) tampak sekali perbedaannya. Dari Gambar 7.8, kamu dapat mempelajari bagaimana proses evolusi kuda berlangsung. Teori evolusi ditunjukkan dengan sederetan fosil yang ditemukan dalam lapisan bumi tua ke muda yang menunjukkan perubahan secara berangsur-angsur.



Sumber: Encarta Library 2005



**Gambar 7.8**  
Evolusi kuda dimulai dari 60 juta tahun yang lalu hingga sekarang

**Tabel 7.2** Perubahan yang Terjadi dari *Eohippus* hingga *Equus*

No.	Bagian Tubuh	Perubahan
1.	Tubuh	makin besar, semula ( <i>Eohippus</i> = <i>Hyracotherium</i> ) sebesar kucing, kini sebesar <i>Equus</i> seperti sekarang
2.	Kepala	makin besar, jarak mulut dengan mata makin jauh.
3.	Leher	makin panjang
4.	Geraham muka dan belakang	makin besar, bentuknya makin sesuai untuk memakan rumput-rumputan
5.	Kaki depan dan belakang	makin panjang, gerakan makin lincah dan larinya makin cepat, gerakan gerakan rotasi tubuh menjadi mundur
6.	Jari kaki (kuku)	dari lima jari menjadi satu, yaitu tinggal jari tengah, bentuknya makin panjang, jari kedua dan keempat berupa organ rudimenter yang tidak berfungsi lagi

### b. Cara menentukan umur fosil

Fosil dapat digunakan sebagai petunjuk kehidupan masa lalu. Umumnya, fosil tertimbun di lapisan tanah tertentu pada masa lalu. Untuk menentukan umur fosil pada lapisan tanah tersebut para ahli menggunakan analisis radioaktif.

Unsur radioaktif yang sering digunakan untuk menentukan umur fosil adalah uranium, kalium, dan natrium. Unsur uranium mengalami radiasi spontan yang menyebabkan massanya berkurang terus sampai akhirnya menjadi plumbum (Pb) 206 yang stabil. Perubahan dari uranium (U) menjadi plumbum (Pb) memerlukan waktu 7.600.000.000 tahun. Hal ini berarti, jika di dalam fosil diketahui kadar Pb nya, maka umurnya dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Umur fosil} = \frac{\text{banyaknya Pb}}{\text{banyaknya U}} \times 7.600.000.000 \text{ tahun}$$

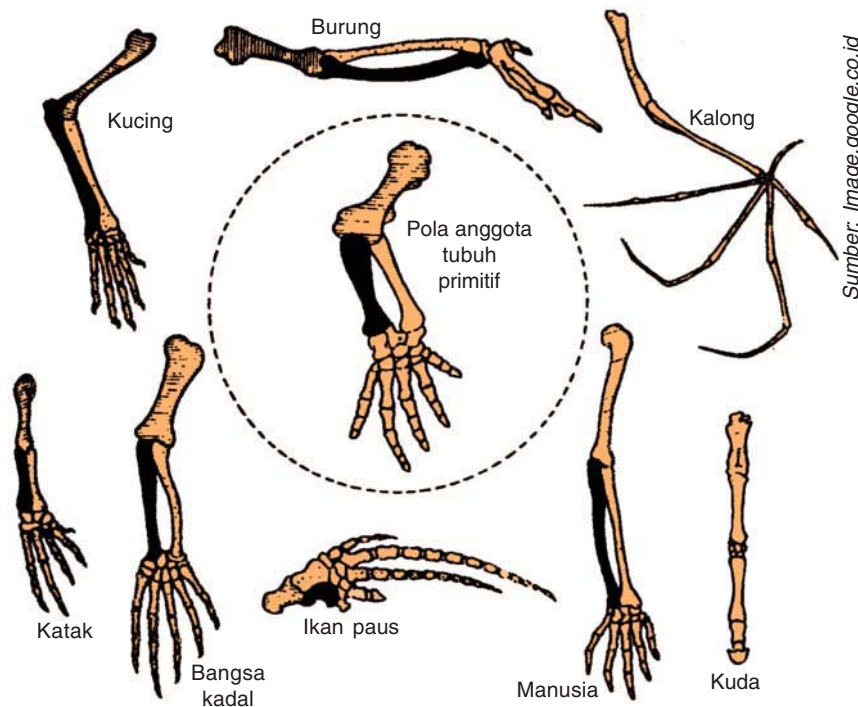
Selain uranium, perubahan kalium (K) menjadi argon (Ar) sering digunakan untuk menentukan umur fosil. Perubahan K menjadi Ar memerlukan waktu 600 juta tahun. Hal ini berarti, fosil atau batuan yang dapat dianalisis adalah fosil yang berumur hingga 600 juta tahun. Lebih dari 600 juta tahun menggunakan uranium.

Unsur lain yang digunakan adalah Nitrogen 14 ( $N^{14}$ ) yang mengalami perubahan menjadi karbon radioaktif  $C^{14}$ . Waktu yang digunakan untuk mengubah  $N^{14}$  menjadi  $C^{14}$  adalah 24.000 tahun. Hal ini berarti, fosil yang dapat dianalisis dengan metode ini adalah fosil yang berumur maksimal 24 ribu tahun.

### 3. Homologi Alat-alat Tubuh Berbagai Makhluk Hidup

Apabila kamu mengamati struktur organ tubuh dari berbagai jenis hewan, maka kamu dapat menemukan hal yang menarik, yaitu organ-organ tubuh yang mempunyai bentuk dan fungsi berbeda, tetapi mempunyai bentuk dasar sama. Peristiwa ini, dikenal dengan *Homologi*.

Contoh homologi adalah anggota tubuh depan dari manusia dipakai untuk memegang. Sedangkan, pada burung dan kelelawar anggota tubuh depan untuk terbang, kaki depan buaya dan salamander untuk berjalan, sirip dada ikan dan paus untuk berenang. Organ-organ tersebut memiliki bentuk dasar yang sama, tetapi dengan adanya evolusi, organ-organ tersebut menjadi berbeda. Akibatnya, terjadi perubahan adaptasi yang berbeda sehingga fungsinya menjadi berbeda.



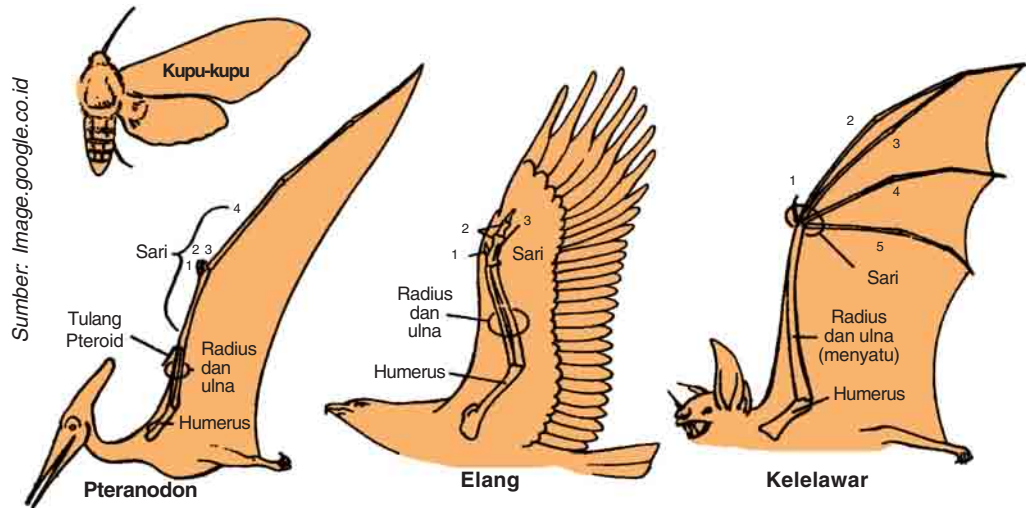
**Gambar 7.9**  
Homologi anggota tubuh depan berbagai hewan

Adanya homologi organ ini menunjukkan perkembangan evolusi konvergen. Contohnya:

- Sayap kupu-kupu analogi dengan sayap burung, keduanya berfungsi untuk terbang.
- Sayap kelelawar analogi dengan sayap burung, keduanya berfungsi untuk terbang.

**Mari Berdiskusi**  
Apakah yang dimaksud dengan evolusi konvergen? Diskusikan dengan teman sebangkumu.

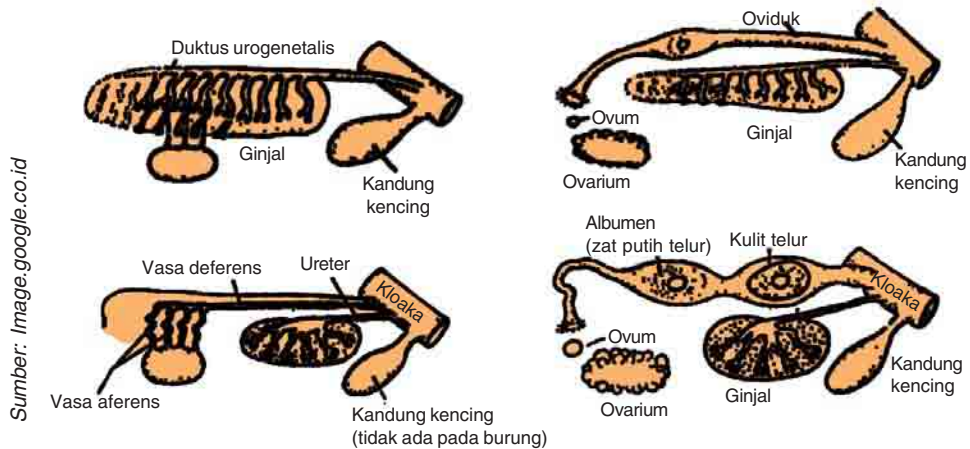
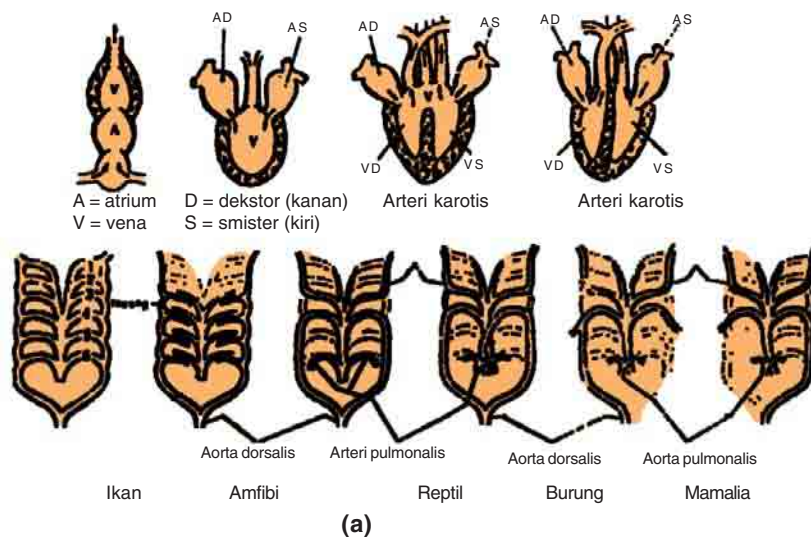


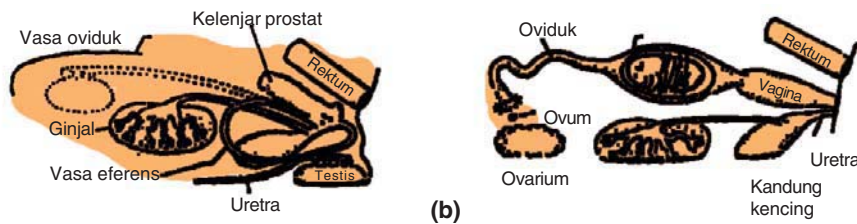


**Gambar 7.10**  
Analogi pada sayap kupu-kupu, kelelawar, dan burung

Bila dibandingkan tulang-tulang anggota tubuh depan mulai dari ikan, katak, kadal, burung, mamalia hingga manusia tampak adanya perubahan-perubahan yang disesuaikan dengan fungsinya.

Selain pada alat gerak, homologi juga dijumpai pada sistem sirkulasi dan urogenitalis vertebrata dari ikan hingga mamalia.

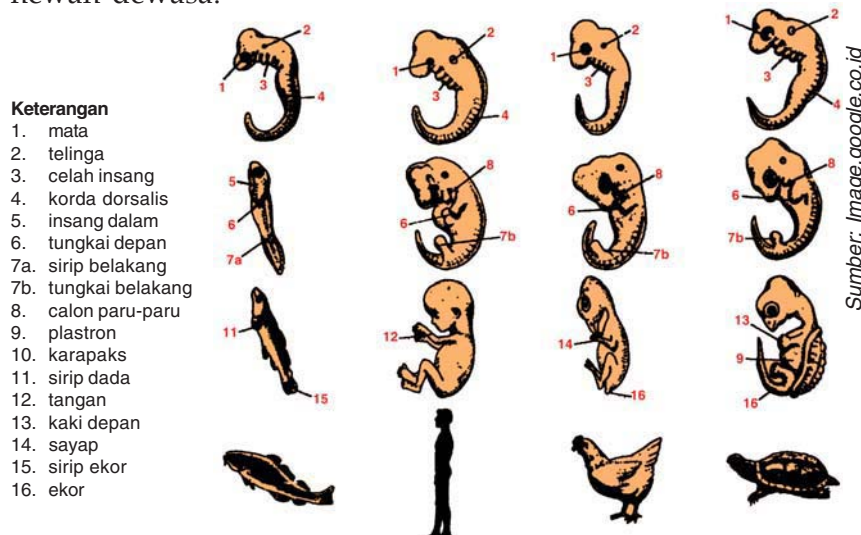




**Gambar 7.11**  
 (a) Homologi pada sistem sirkulasi vertebrata  
 (b) Homologi pada sistem urogenitalia vertebrata

#### 4. Embriologi Perbandingan

Perkembangan embrio semua vertebrata memperlihatkan kemiripan yang lebih banyak daripada hewan dewasa. Hal ini terlihat jelas pada pembelahan, morfogenesis, dan tahap diferensiasi awal. Persamaan ini sering digunakan sebagai bukti hubungan evolusi antara vertebrata. Hewan mempunyai embrio yang menyerupai embrio leluhurnya. Jadi, tahap embrio hewan yang berbeda-beda dapat lebih mirip satu sama lainnya daripada hewan dewasa.



Sumber: [image.google.co.id](http://image.google.co.id)

**Gambar 7.12**  
 Perkembangan embrio berbagai jenis vertebrata

#### 5. Perbandingan Biokimia

Semua spesies mewarisi sifat-sifat dari nenek moyangnya. Jenis dan jumlah sifat yang sama merupakan petunjuk jauh dekatnya hubungan kekerabatan. Hal ini juga terjadi pada pewarisan sifat biokimia. Kamu telah mengetahui bahwa DNA setiap spesies mengandung instruksi untuk sintesis RNA dan protein yang penting untuk menghasilkan individu baru. Perbandingan DNA, RNA dan protein merupakan cara untuk mengevaluasi hubungan evolusi di antara spesies.

*Perbandingan asam nukleat.* Perubahan yang unik pada urutan nukleotida dapat terakumulasi pada tiap-tiap garis keturunan. Jauh dekatnya hubungan kekerabatan antarspesies dapat diketahui dengan melihat komplementasi (perpasangan basa) antara rantai DNA atau RNA pada spesies yang disebut *hibridisasi asam nukleat*.

## 6. Perbandingan Fisiologi

Makhluk hidup mulai dari terendah hingga yang paling tinggi tersusun atas sel. Walaupun jumlah sel dan morfologi setelah dewasa berbeda-beda, namun fisiologi di dalam selnya memiliki kemiripan, seperti:

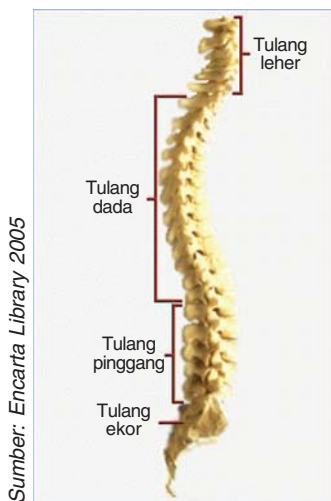
- Metabolisme
- Respirasi
- sintesis protein
- sintesis ATP dan penggunaannya dalam aktivitas hidup

## 7. Petunjuk Alat Tubuh yang Tersisa

Pada berbagai jenis hewan termasuk manusia ditemukan sisa berbagai alat tubuh. Alat ini pada hakikatnya sudah tidak berguna lagi, namun masih dijumpai dalam tubuh. Para pakar menyimpulkan bahwa adanya alat-alat tubuh yang tersisa merupakan petunjuk adanya evolusi. Beberapa sisa alat tubuh yang ditemukan pada manusia, antara lain:

- umbai cacing atau appendix
- selaput mata pada sudut mata sebelah dalam
- otot penggerak telinga
- tulang ekor
- gigi taring yang runcing
- rambut pada dada
- buah dada pada laki-laki

Pada hewan, sisa-sisa organ tubuh yang masih ditemukan antara lain sisa kaki belakang ular piton yang mirip benjolan kuku. Dalam organ ini terdapat tulang yang berhubungan dengan gelang panggul. Pada burung kiwi terdapat sisa bangunan sayap. Pada paus yang merupakan mamalia semestinya memiliki rambut pada kulitnya. Tetapi kenyataannya semua paus tidak memiliki rambut tersebut. Sebagai gantinya paus memiliki lapisan kulit yang tebal untuk menjaga stabilitas suhu tubuh, berdasarkan penelitian, embrio paus mempunyai lapisan kulit yang mengandung rambut.



**Gambar 7.13**  
Tulang ekor pada manusia

## D Mekanisme Evolusi

Evolusi merupakan perubahan makhluk hidup dalam jangka waktu yang lama dan berlangsung perlahan-lahan. Perubahan ini terjadi dalam satu populasi dan diturunkan dari generasi ke generasi.

Dalam suatu lingkungan, sifat-sifat genetik menentukan keanekaragaman makhluk hidup, keanekaragaman ini meliputi struktur, tingkah laku, dan lain-lain. Jika terjadi perubahan materi

genetik, maka terjadi perubahan sifat pada keturunan-keturunannya. Hal ini menyebabkan munculnya spesies baru. Perubahan materi genetik ini disebut *mutasi*. Evolusi terjadi karena adanya mutasi dan seleksi alam. Mari cermati uraian berikut ini.

## 1. Mutasi Gen

Mutasi gen adalah perubahan kimia gen (DNA) yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan sifat suatu organisme yang bersifat menurun. Mutasi dapat terjadi dengan adanya pengaruh luar dan tanpa pengaruh faktor luar. Mutasi yang terjadi tanpa pengaruh faktor luar mempunyai dua sifat, yaitu sangat jarang terjadi, dan umumnya tidak menguntungkan.

Umumnya, mutasi jarang terjadi dan tidak menguntungkan. Mutasi merupakan mekanisme evolusi yang penting dan dapat membentuk spesies baru. Untuk mengetahui hal ini, perlu angka laju mutasi, yaitu angka yang menunjukkan jumlah gen yang mutasi dari seluruh gamet yang dihasilkan oleh suatu individu dari suatu spesies.

Angka laju mutasi suatu spesies umumnya sangat rendah karena faktor-faktor yang menyebabkan mutasi tidak dapat diramalkan secara pasti. Angka laju mutasi berkisar antara satu gen di antara dua ribu sampai jutaan gamet, atau rata-rata 1 : 100.000, artinya dalam setiap 100.000 gamet terdapat satu gen yang mampu bermutasi. Jadi, angka laju mutasi sangat kecil, tetapi merupakan mekanisme yang penting, karena:

- a) setiap gamet mengandung beribu-ribu gen;
- b) setiap individu menghasilkan ribuan sampai jutaan gamet dalam satu generasi; dan
- c) jumlah generasi suatu spesies selama spesies itu ada banyak sekali.

Angka laju mutasi yang menguntungkan lebih kecil dari pada angka laju mutasi yang merugikan, yaitu perbandingan antara 1 dan 1.000, artinya dari 1.000 mutasi yang terjadi, satu di antaranya mutasi yang menguntungkan. Walaupun mutasi yang menguntungkan ini kecil, karena jumlah generasi selama spesies itu ada sangat besar, maka jumlah mutasi yang menguntungkan besar pula. Hasilnya, seperti pada contoh soal berikut:

- 1) angka laju mutasi per gen adalah 1 : 100.000
- 2) jumlah gen dalam individu yang mampu bermutasi adalah 1.000
- 3) perbandingan antara mutasi menguntungkan dengan mutasi yang terjadi adalah 1 : 1.000
- 4) jumlah populasi spesies adalah 300.000.000
- 5) jumlah generasi selama spesies itu ada adalah 6.000



Berapa hasil mutasi yang menguntungkan selama spesies itu ada?

**Jawab:**

- 1) Jumlah mutasi yang menguntungkan yang mungkin terjadi pada setiap individu:  $1/100.000 \times 1.000 \times 1/1.000 = 1/100.000$ .
- 2) Dalam setiap generasi akan terjadi mutasi gen yang menguntungkan  $1/100.000 \times 300.000.000 = 3.000$ .
- 3) Selama spesies itu ada, yaitu 6.000 generasi, mutasi yang menguntungkan adalah  $3.000 \times 6.000 = 18.000.000$ .

Jadi, jelas bahwa mutasi yang menguntungkan selama periode evolusi tertentu cukup besar. Sehingga, kemungkinan dihasilkannya spesies yang adaptif menjadi besar pula.

Yang termasuk mutasi yang menguntungkan adalah dihasilkannya spesies yang adaptif dan memiliki vitalitas dan viabilitas tinggi. Sedangkan, mutasi yang merugikan adalah dihasilkannya gen letal yang menimbulkan mutasi letal. Dihasilkan keturunan yang mempunyai viabilitas dan fertilitasnya rendah dan keturunan yang tidak adaptif.

Gen-gen mutan yang merugikan, umumnya bersifat resesif sehingga peristiwa mutasi hanya akan tampak apabila dalam keadaan heterozigot. Hal ini menunjukkan bahwa seleksi alam hanya bekerja terhadap individu homozigot.

### a. Frekuensi gen dan genotip di dalam populasi

Frekuensi gen adalah perbandingan antara gen atau genotip yang satu dengan gen atau genotip yang lain di dalam satu populasi. Misalnya, dalam suatu daerah terdapat populasi tanaman berbunga merah MM dan tanaman berbunga putih mm, yang sama-sama adaptif. Apabila diadakan persilangan, maka akan diperoleh tanaman dengan fenotip dan genotip tertentu (lihat Diagram 7.1).

**Diagram 7.1** Frekuensi Gen dalam Populasi F<sub>2</sub>

P	:	MM	×	mm
F <sub>1</sub>	:	Mm = 100%		
Gamet	:	M = 50%		m = 50%
F <sub>2</sub>		♂		
	♀		50% M	50% m
	50% M		25% MM	25% Mm
	50% m		25% Mm	25% mm

Berdasarkan Diagram 7.1, tampak jelas bahwa frekuensi gen pada  $F_2$  adalah:

$$\begin{aligned} &= 25\% \text{ MM} : 2(25\% \text{ Mm}) : 25\% \text{ mm} \\ &= 25\% \text{ MM} : 50\% \text{ Mm} : 25\% \text{ mm} \\ &= \frac{1}{4} \text{ MM} : \frac{1}{2} \text{ Mm} : \frac{1}{4} \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil tersebut, maka frekuensi kesetimbangan genotip  $F_2$  = hasil kali dari frekuensi gen dari masing-masing induknya, atau  $(M + m)(M + m) = M^2 + 2Mm + m^2$  atau  $\text{MM} + 2\text{Mm} + \text{mm}$

Apabila dicari frekuensi gen sampai  $F_3$ , maka akan diperoleh frekuensi perkawinan seperti pada Diagram 7.2.

**Diagram 7.2** Frekuensi Perkawinan dari  $F_2$

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

Diagram di atas menunjukkan perbandingan kemungkinan terjadi perkawinan antara jantan dan betina di dalam seluruh populasi  $F_3$ .

Apabila dalam populasi tersebut terjadi 32 perkawinan, maka:

- perkawinan antara  $\text{MM} \times \text{MM} = 32 \times \frac{1}{16} = 2$  perkawinan,
- perkawinan antara  $\text{Mm} \times \text{Mm} = 32 \times \frac{4}{16} = 8$  perkawinan,
- perkawinan antara  $\text{Mm} \times \text{mm} = 32 \times \frac{2}{16} = 4$  perkawinan.

Apabila setiap perkawinan menghasilkan 10 individu, maka kamu dapat membuat tabel hasil dari seluruh perkawinannya tersebut (Lihat Tabel 7.6).

**Tabel 7.6** Perkawinan Jumlah Individu dari Seluruh Perkawinan

No.	Tipe Perkawinan	Jumlah Perkawinan	Jumlah Individu Diagram Genotip		
			MM	Mm	mm
1.	$\text{MM} \times \text{MM}$	$\frac{1}{16} \times 32 = 2$	20	-	-
2.	$\text{MM} \times \text{Mm}$	$\frac{2}{16} \times 32 = 4$	20	20	-
3.	$\text{MM} \times \text{mm}$	$\frac{1}{16} \times 32 = 2$	-	20	-
4.	$\text{Mm} \times \text{MM}$	$\frac{2}{16} \times 32 = 4$	20	20	-
5.	$\text{Mm} \times \text{Mm}$	$\frac{4}{16} \times 32 = 8$	20	20	20
6.	$\text{Mm} \times \text{mm}$	$\frac{2}{16} \times 32 = 4$	-	20	20
7.	$\text{mm} \times \text{MM}$	$\frac{1}{16} \times 32 = 2$	-	20	-
8.	$\text{mm} \times \text{Mm}$	$\frac{2}{16} \times 32 = 4$	-	20	20
9.	$\text{mm} \times \text{mm}$	$\frac{1}{16} \times 32 = 2$	-	-	20
Jumlah		32	80 (25%)	160 (50%)	80 (25%)

Berdasarkan tabel tersebut tampak bahwa, kesetimbangan frekuensi genotip  $MM : Mm : mm$  pada generasi ketiga ( $F_3$ ) tetap seperti  $F_2$ , yaitu  $MM : Mm : mm = 25 : 50 : 25 = \frac{1}{4} : \frac{1}{2} : \frac{1}{4}$ .

## 2. Hukum Hardy-Weinberg

Hukum Hardy-Weinberg menegaskan bahwa frekuensi alel dan genetik dalam suatu populasi (*gene pool*) selalu konstan dari generasi ke generasi dengan kondisi tertentu. Hal ini, dikemukakan oleh **Godfrey Harold Hardy** (ahli matematika dari Inggris) dan **Wilhelm Weinberg** (dokter dari Jerman).

Kondisi yang dimaksud oleh Hukum Hardy-Weinberg adalah:

### 1) Ukuran populasi harus besar

Pada populasi yang kecil, aliran genetik (*genetic drift*) merupakan kesempatan fluktuasi dalam *gene pool* dan dapat mengubah frekuensi alel. Jadi, ukuran populasi harus besar agar frekuensi alel dalam *gene pool* selalu konstan.

### 2) Ada isolasi dari populasi lain (tidak ada imigrasi dan emigrasi)

Arus gen (*gene flow*) merupakan transfer alel antarpopulasi yang berhubungan dengan perpindahan individu atau gamet yang dapat merubah *gene pool*.

### 3) Tidak terjadi mutasi

Perubahan satu alel menjadi alel lainnya, mengakibatkan mutasi, hal ini dapat mengubah *gene pool*.

### 4) Perkawinan acak (random)

Jika individu-individu memilih pasangannya dengan sifat-sifat tertentu (yang diturunkan), maka pencampuran secara acak gamet-gamet seperti yang diharapkan pada keseimbangan Hardy-Weinberg tidak dapat terjadi.

### 5) Tidak terjadi seleksi alam

Keberhasilan mempertahankan hidup dan reproduksi dapat mengubah *gene pool* karena mendukung adanya perpindahan beberapa alel dengan mengorbankan alel lainnya. Formulasi hukum Hardy-Weinberg dapat dijelaskan berikut ini.

Pada suatu lokus, gen hanya mempunyai dua alel dalam satu populasi. Apabila gen  $A = p$ , dan gen  $a = q$ , maka secara matematis menurut hukum Hardy - Weinberg hasil perkawinan  $Aa \times Aa = F_2$  dapat dituliskan sebagai berikut:

Sumber: Image.google.co.id



**Gambar 7.14**  
Godfrey Harold Hardy

Sumber: Image.google.co.id



**Gambar 7.15**  
Wilhelm Weinberg

$Aa \times Aa$  masing-masing membuat gamet  $\frac{1}{2} A$  dan  $\frac{1}{2} a$ , akan menghasilkan frekuensi genotip anak sebagai berikut:

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

Apabila  $A$  diganti  $p$  dan  $a$  diganti  $q$ , maka:

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

Jadi, resiko genotip =  $p^2 : pq : q^2 = 1 : 2 : 1$  karena  $A + a = 1$ , maka  $p + q = 1$ , dan  $p^2 + 2pq + q^2 = 1$ .

Diagram persilangan dapat disusun sebagai berikut:

♀ \ ♂	A = p	a = q
A = p	AA = p <sup>2</sup>	Aa = pq
a = q	Aa = pq	aa = q <sup>2</sup>

$p^2$  : tanaman homozigot dominan

$pq$  : tanaman heterozigot

$q^2$  : tanaman homozigot resesif

### Cara mencari frekuensi gen

Jika dalam suatu populasi diketahui frekuensi genotipnya, maka frekuensi gennya dapat dicari. Contohnya, frekuensi genotip  $aa$  dalam suatu populasi 0,25. Tentukan frekuensi gen  $A : a$  serta frekuensi genotip  $AA, Aa$ , dan  $aa$ .

**Jawab:**

$$\text{Frekuensi gen } a = \sqrt{aa} = \sqrt{0,25} = 0,5$$

$$\text{Jumlah frekuensi gen } A + a = 1$$

$$\text{Jadi, frekuensi gen } A = 1 - 0,5 = 0,5$$

$$\text{Frekuensi genotip } AA : Aa : aa =$$

$$(0,5 A + 0,5a) (0,5 A + 0,5 a) =$$

$$0,25 AA : 0,50 Aa : 0,25 aa.$$

Penerapan hukum Hardy-Weinberg untuk menghitung frekuensi gen dalam populasi sebagai berikut:

1. Dalam suatu populasi terdapat kelompok perasa pahit kertas PTC (*phenil thiocarbamide*) sebesar 64%, sedangkan yang lainnya bukan perasa PTC. Bukan perasa PTC dikendalikan oleh gen  $t$  dan perasa PTC dikendalikan oleh gen  $T$ . Tentukan frekuensi gen dan genotip populasi orang PTC dan non PTC.



**Jawab:**

Jumlah PTC dan non-PTC = 100%

orang PTC (genotip TT atau Tt) = 64%

Frekuensi orang tidak perasa PTC (bergenotip tt =  $q^2$ ) =

$$100\% - 64\% = 36\%$$

$$q^2 = 36\% = 0,36$$

$$\text{maka frekuensi gen } t = q = \sqrt{0,36} = 0,6$$

$T + t = 1$ , maka

$$\text{frekuensi } T = 1 - 0,6 = 0,4$$

$$\text{frekuensi } T : t = 0,4 : 0,6$$

frekuensi genotip TT : Tt : tt

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

$$= (0,4 T + 0,6 t) (0,4 T + 0,6 t)$$

$$= 0,16 TT + 2(0,24 Tt) + 0,36 tt$$

$$= 0,16 TT + 0,48 Tt + 0,36 tt$$

Jadi, frekuensi genotip TT : Tt : tt = 16 : 48 : 36 = 4 : 12 : 9

Untuk mencari frekuensi gen, coba kamu cari dahulu frekuensi individu yang bergenotip homozigot resesif, sebab genotif dominan bisa bergenotip TT atau Tt.

2. Diketahui frekuensi orang albino pada suatu masyarakat adalah 25 di antara 10.000 orang. Berapa persentase orang pembawa sifat albino yang heterozigot?

**Jawab:**

Orang albino aa ( $q^2$ )

$$q^2 = \frac{25}{10.000} = 0,0025$$

$$q = \sqrt{0,0025}$$

$$= 0,05$$

$$p + q = 1$$

$$p + 0,05 = 1 \rightarrow p = 1 - 0,05 = 0,95$$

Orang pembawa sifat albino dinotasikan dengan 2 pq

$$= 2(0,95 \times 0,05)$$

$$= 0,0475$$

$$= 0,0475 \times 100\%$$

$$= 4,75\%$$

### 3. Perubahan Perbandingan Frekuensi Gen pada Populasi

Saat ini, telah diketahui beberapa faktor penting yang menyebabkan perubahan keseimbangan genetik di dalam suatu populasi. Faktor-faktor tersebut, antara lain: mutasi, seleksi alam, emigrasi dan imigrasi, rekombinasi dan seleksi, dan *genetic drift*. Untuk lebih mengetahui, mari cermati uraian berikut ini.

#### a. Mutasi

Apabila ada satu atau beberapa gen yang bermutasi, maka akan terjadi perubahan keseimbangan gen-gen dalam suatu populasi.

##### Contoh:

Gen *b* yang mempengaruhi rambut tikus berwarna putih adalah normal. Kemudian, bermutasi menjadi gen *B* yang menyebabkan rambut tikus berwarna kuning. Gen ini menyebabkan letal apabila dalam keadaan homozigot *BB*.

##### Maka:

P	Bb (kuning)	×	Bb (kuning)
F	$\frac{BB}{1}$ ↓ Letal	$\frac{Bb}{1}$	$\frac{Bb}{1}$ 2 kuning
			$\frac{bb}{1}$ 1 putih

Dengan demikian, rasio genotip yang dihasilkan  $Bb : bb = 2 : 1$ , karena *BB* letal.

#### b. Seleksi alam

Di danau buatan di Amerika Serikat pernah ditemukan jenis katak berkaki banyak dan jenis katak normal. Katak yang berkaki banyak fertilitasnya rendah atau mandul dan bersifat resesif. Sedangkan, katak berkaki normal mempunyai fertilitas normal dan bersifat dominan. Karena katak berkaki banyak bersifat mandul, maka katak ini dapat dihasilkan dari perkawinan antara katak berkaki normal heterozigot.

Jadi, apabila katak berkaki normal heterozigot (*Nn*) dikawinkan dengan yang berkaki normal *Nn*, maka akan dihasilkan rasio keturunannya, sebagai berikut:

P	Nn	><	Nn
F	$\frac{NN}{1}$ 25%	:	$\frac{(Nn + Nn)}{2}$ 50%
			$\frac{nn}{1}$ 25%

Katak yang bergenotif  $nn$  adalah mandul sehingga yang mampu menghasilkan keturunan yang bergenotif  $NN$  dan  $Nn$ , atau 75% dari seluruh populasi.

### c. Emigrasi dan imigrasi

Spesies yang menghuni daerah terpisah oleh geografis tertentu, misalnya lautan. Keadaan ini tidak memungkinkan terjadinya perpindahan secara normal dari satu daerah ke daerah yang lain.

Sebagai contoh, spesies *Xylocopa nobilis* (kumbang kayu) yang dapat kamu temukan di berbagai daerah di Pulau Sulawesi dan sekitarnya. Kumbang-kumbang tersebut menunjukkan perbedaan genetik.

### d. Rekombinasi dan seleksi

Rekombinasi gen merupakan mekanisme penting untuk terjadinya evolusi. Rekombinasi genetik berlangsung melalui perkembangan generatif. Sehingga, reproduksi seksual merupakan faktor penting dalam proses evolusi.

Seleksi adalah usaha manusia memilih jenis hewan atau tumbuhan sesuai dengan keinginannya. Umumnya yang diseleksi atau dipilih adalah jenis yang bersifat unggul.

Rekombinasi gen-gen yang terjadi, karena perkawinan silang merupakan suatu bahan mentah evolusi. Berdasarkan rekombinasi ini dimungkinkan terbentuknya varietas baru.

## 4. Timbulnya Spesies Baru

Setiap populasi terdiri atas kumpulan individu sejenis dan menempati suatu lokasi yang sama. Suatu individu dapat disebut anggota populasi apabila individu tersebut satu spesies dengan individu lainnya. Individu berbeda masih dapat disebut satu spesies apabila variasi-variasi yang ada tidak menjadi penghalang terjadinya pertukaran gen. Pertukaran gen ini dapat terjadi melalui proses interhibridasi (persilangan). Jadi, perbedaan morfologi, fisiologi maupun tingkah laku tidak dapat dijadikan sebagai alasan untuk memisahkan dua populasi menjadi dua spesies yang berbeda. Terbentuknya spesies baru ini terjadi karena adanya isolasi geografis, isolasi reproduksi, domestikasi dan poliploidisasi. Untuk mengetahui proses terbentuknya spesies baru, mari cermati uraian berikut ini.

### a. Isolasi geografis

Apabila beberapa varietas baru hasil dari suatu rekombinasi faktor genetik dan spesies tertentu menghuni tempat yang berlainan, maka mereka akan mengalami

perubahan yang mengarah pada terbentuknya spesies baru. Keadaan alam yang terpisah ini menghalangi terjadinya hubungan reproduksi. Hambatan (*barrier*) seperti ini disebut *isolasi geografi*.

Isolasi geografi disebabkan oleh kondisi alam, seperti laut, gunung, dan gurun pasir. Isolasi geografi dapat memungkinkan terjadinya pemisahan dua populasi (*alapatih*). Dua populasi ini dapat terbentuk karena masing-masing populasi terpengaruh akumulasi faktor ekstrinsik yang menyebabkan terjadi isolasi faktor-faktor intrinsik. Hal ini dapat memungkinkan terjadinya isolasi reproduksi.

### b. Isolasi reproduksi

Isolasi reproduksi merupakan hambatan terjadinya perkawinan silang antara dua spesies simpatrik. Spesies simpatrik adalah dua spesies berbeda yang tinggal atau menghuni daerah yang sama. Isolasi reproduksi dapat terjadi melalui isolasi intrinsik. Mekanisme isolasi intrinsik dapat di bagi menjadi tiga macam, yaitu:

- 1) Mekanisme yang mencegah terjadinya perkawinan sehingga mencegah terjadinya fertilisasi. Isolasi reproduksi yang terjadi karena isolasi intrinsik, antara lain:
  - a) isolasi ekogeografi
  - b) isolasi habitat
  - c) isolasi iklim atau musim
  - d) isolasi perilaku
  - e) isolasi mekanik
- 2) Mekanisme yang mencegah terjadinya hibrida. Mekanisme ini beroperasi dengan mencegah terbentuknya hibrida. Isolasi reproduksi yang terjadi karena isolasi intrinsik, antara lain:
  - a) isolasi gamet
  - b) isolasi perkembangan
  - c) ketidakmampuan hidup suatu hibrida
- 3) Mekanisme yang mencegah kelangsungan hidup hibrida. Isolasi reproduksi yang terjadi, antara lain:
  - a) kemandulan hibrida
  - b) eliminasi hibrida yang selektif

Untuk lebih memahami mekanisme intrinsik, mari cermati uraian berikut ini.

#### 1) Isolasi ekogeografi

Bila dua populasi terpisah oleh hambatan fisik sehingga sulit untuk berhubungan, maka masing-masing populasi akan berkembang menyesuaikan diri dengan lingkungannya. Pada suatu ketika keturunannya akan berbeda, sebab masing-masing



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 7.16**  
Contoh keadaan alam yang menyebabkan isolasi geografi



telah mengalami perubahan genetik karena pengaruh lingkungan. Bila suatu ketika dua populasi tersebut berada pada satu lingkungan, tidak akan mampu mengadakan hibridisasi, karena masing-masing tidak mampu menyesuaikan diri pada lingkungan yang baru.

Contohnya, tanaman *Platanus occidentalis* dan *Platanus orientalis*. Kedua populasi tidak dapat mengadakan penyerbukan secara alami, apabila dilakukan penyerbukan buatan dan menghasilkan keturunan ternyata fertil.

## 2) Isolasi Habitat

Isolasi habitat, yaitu isolasi reproduksi yang terjadi akibat dua populasi simpatrik memiliki habitat berbeda. Contohnya, katak jenis *Bufo fowleri* habitatnya di air tenang dan *Bufo americanus*

habitatnya di kubangan-kubangan air hujan. Apabila dua populasi tempat tinggalnya dicampur, masing-masing jenis akan lebih banyak kawin dengan sesama jenisnya dibanding perkawinan lain jenis. Apabila terjadi perkawinan lain jenis, ternyata keturunan yang dihasilkannya steril.



**Gambar 7.17**  
Contoh isolasi habitat  
a) *Bufo fowleri*  
b) *Bufo americanus*

## 3) Isolasi iklim atau musim

Isolasi iklim, yaitu isolasi reproduksi yang terjadi apabila dua spesies simpatrik memiliki masa pemasakan kelamin pada musim yang berbeda. Sebagai contoh, *Pinus radiata* dan *Pinus muricata* yang banyak hidup di beberapa daerah di Amerika Serikat sebagai populasi simpatrik secara alami tidak pernah melakukan hibridisasi. Hal yang sama juga terjadi pada populasi simpatrik katak jenis *Rana*. Walaupun hidup pada daerah yang sama, tetapi tidak terjadi perkawinan atau hibridisasi lain spesies.

## 4) Isolasi perilaku

Isolasi perilaku, yaitu isolasi reproduksi yang terjadi apabila dua spesies simpatrik mempunyai pola tingkah laku kawin berbeda. Contohnya, perilaku kawin pada beberapa jenis ikan.

Ikan  $X_1$  : membuat sarang yang digantungkan pada tumbuhan lain. Sarangnya memiliki dua lubang, untuk masuk dan untuk keluar. Agar yang betina masuk ke dalam sarang, si jantan menari-nari dengan gerakan zig zag di depan si betina. Dengan sedikit dorongan, si betina masuk ke dalam sarang.

Ikan  $X_2$  : membuat sarang pada dasar perairan dan hanya memiliki satu lubang pintu. Agar si betina mau masuk ke dalam sarang, si jantan melakukan gerakan perkawinan di muka sarang, selanjutnya memaksa si betina untuk masuk ke dalam sarang.

Perbedaan perilaku kawin pada hewan dapat bersifat *visual*, artinya dapat dipertunjukkan dan dapat bersifat *auditif* atau berupa perbedaan suara. Bentuk perilaku kawin pada berbagai jenis hewan memiliki kekhasan sendiri-sendiri. Pada berbagai jenis, si jantan menarik pasangan dengan warna bulunya, suaranya, dan gerakannya. Untuk mencegah terjadinya keliru pasangan, pada itik jantan memiliki warna tertentu yang mencolok.

Bentuk perilaku hewan yang bersifat visual lainnya adalah berupa gerak. Bentuk ini dijumpai pada burung, kepiting, serangga, dan lain-lain. Kepiting jantan pada masa kawin menaikkan apit besarnya tinggi-tinggi dan mengangkat badannya sambil berjalan mengelilingi lubang tempat betina. Cara mengangkat kaki, badan serta gerakan kepiting jantan berbeda-beda. Adanya perilaku yang khas, badan serta gerakan kepiting jantan berbeda-beda. Adanya perilaku yang khas ini agar hewan betina tidak salah memilih pasangan kawinnya. Pada jangkrik, hewan jantan menggunakan suara yang berbeda-beda. Hanya hewan betina pasangannya yang sangat mengenal suara hewan jantan pasangannya.

### 5) Isolasi mekanik

Isolasi mekanik, yaitu isolasi reproduksi yang terjadi apabila dua populasi simpatrik mempunyai bentuk morfologi alat reproduksi yang berbeda. Jadi, isolasi mekanik menyangkut struktur yang menyangkut peristiwa perkawinan. Isolasi mekanik pada hewan dapat terjadi, antara lain hewan jenis jantan berukuran jauh lebih besar dari betinanya. Selain itu, struktur alat kelamin jantan tidak sesuai dengan struktur alat kelamin betinanya. Dalam beberapa jenis hewan berlaku apa yang disebut sebagai "kunci dan gembok" (*Lock and Key*).

Pada hewan *Myriapoda* genus *Brochoria*, jenis jantannya memiliki bentuk alat kelamin yang bervariasi. Sedangkan, betinanya mempunyai bentuk yang serupa.

Pada tumbuhan, isolasi mekanik ini pengaruhnya lebih nyata dibanding dengan hewan, terutama yang berkaitan dengan penyebaran serbuk sari. Ada kekhususan bentuk bunga dalam hubungannya dengan hewan penyebar serbuk sari.

### 6) Isolasi gamet

Isolasi gamet, yaitu isolasi reproduksi yang terjadi apabila dua spesies simpatrik tidak dapat melakukan fertilisasi. Hal ini terjadi karena sel gamet jantan tidak mempunyai kemampuan hidup pada saluran kelamin betinanya.

Sebagai contoh, pada tanaman tembakau inti serbuk yang jatuh di kepala putik tidak dapat mencapai inti sel telur pada kandung lembaga atau ovula. Akibatnya, tidak terjadi *fertilisasi*. Pada percobaan inseminasi buatan menggunakan objek lalat buah, *Drosophilavirilis*, *Drosophila americana* dan *Drosophila spesies* lain, mekanisme isolasi gametnya bervariasi.

Bila spermatozoid *Drosophila virilis* diinseminasikan ke saluran telur *Drosophila americana*, ternyata dalam saluran sel telurnya terbentuk cairan penghambat sehingga spermatozoid tidak dapat bergerak. Pada percobaan lain terjadi mekanisme yang berbeda. Saat spermatozoid masuk ke saluran reproduksi saluran tersebut membengkak sehingga spermatozoid mati.

### 7) Isolasi perkembangan

Isolasi perkembangan, yaitu isolasi yang terjadi karena embrio hasil fertilisasi dua spesies simpatrik tidak dapat tumbuh dan segera mati. Isolasi seperti ini banyak dijumpai pada berbagai jenis ikan dan katak.

### 8) Ketidakmampuan hidup suatu hibrida

Beberapa jenis populasi simpatrik dapat melakukan perkawinan. Pembuahan maupun pembentukan embrio dapat berlangsung, tetapi hibridanya lemah, cacat atau mati sebelum mampu melakukan reproduksi. Dengan demikian, walaupun berlangsung perkawinan antara dua populasi simpatrik, tetapi tidak terjadi pertukaran gen. Peristiwa ini dijumpai pada tanaman tembakau. Isolasi seperti ini sering disebut terbentuknya bastar (hibrida) *mati bujang*.

### 9) Kemandulan hibrida

Keledai dengan kuda, atau kambing dengan biri-biri dapat dikawinkan dan dapat menghasilkan keturunan. Hibrida yang dihasilkan dapat hidup baik dan normal, tetapi tetap steril atau mandul. Dengan demikian, dua populasi simpatrik tersebut tidak terjadi pertukaran gen.

### 10) Eliminasi hibrida karena seleksi

Bisa terjadi dua populasi simpatrik melakukan perkawinan, dapat terjadi pembuahan, terbentuk embrio bahkan mampu menghasilkan hibrida yang fertil. Populasi hibrida karena salah pasangan ini, biasanya jauh lebih sedikit daripada hasil perkawinan populasi spesies. Akibatnya semua hibrida dapat terdesak sehingga lambat laun mengalami eliminasi (punah). Dengan demikian, lingkungan akan melakukan koreksi terhadap kekeliruan perkawinan tersebut.



### b. Domestikasi

Domestikasi adalah usaha manusia untuk menjadikan hewan ternak dari hewan liar dan tanaman budi daya dari tumbuhan liar. Pada dasarnya, tindakan ini adalah memindahkan makhluk hidup dari lingkungan aslinya ke lingkungan yang diciptakan manusia. Tindakan ini dapat mengakibatkan timbulnya jenis-jenis hewan dan tumbuhan yang menyimpang dari aslinya yang mengarah terbentuknya spesies baru. Sebagai contoh, kebiasaan seseorang untuk menyilangkan dua varietas tanaman atau hewan sejenis. Melalui tindakan penyilangan tersebut, pada zaman Darwin di Inggris pernah ditemukan 150 varietas merpati. Dari varietas tersebut ditemukan varietas yang mempunyai penampakan sangat berbeda, seolah-olah spesies lain. Ada burung dara yang kepalanya bermahkota, ada yang tidak. Ada burung dara yang memiliki ekor mirip kipas dengan jumlah bulu ekor mencapai 40, sedangkan umumnya jumlah bulu ekor burung dara adalah 12. Adanya domestikasi menyebabkan terjadinya variasi yang mengarah terbentuknya spesies baru, misalnya pada anjing.

### c. Terbentuknya spesies baru karena adanya poliploid

Pada tumbuhan, kadang meiosis berlangsung dalam keadaan tidak wajar. Misalnya, terjadi nondisjungsi atau gagal berpisah, terjadi pada anafase sehingga gamet yang dihasilkan membuahi atau dibuahi oleh sel gamet yang normal (haploid), akan menjadi keturunan yang *triploid*. Apabila keturunan semacam ini fertil dan dapat melakukan perkawinan dengan hibrida sesama *tetraploid*, maka tidak menutup kemungkinan dihasilkannya turunan yang *poliploid*. Dengan demikian, terbentuknya hibrida poliploid dapat terjadi karena dua hal, yaitu:

- a) *Autopoliploidi*, yaitu peristiwa menggandakan kromosom tanpa diikuti pemisahan kromosom. Gagalnya pemisahan kromosom ini, antara lain disebabkan tidak terbentuknya benang spindel pada fase *anafase*. Akibat, tidak terbentuknya benang spindel, maka kromatid mengalami peristiwa gagal berpisah (*nondisjunction*).

Selain *nondisjunction*, *autopoliploidi* juga dapat terjadi karena adanya peristiwa penggandaan (*doubling*) dari kromosom. Peristiwa *autopoliploidi* ini ditemukan pada tanaman bunga *Oenothera lamarckiana*. Individu normal memiliki 14 kromosom akibat *autopoliploidi* dihasilkan *Oenothera gigas* yang memiliki 28 kromosom. Jenis tumbuhan tersebut apabila mengadakan persilangan akan menghasilkan keturunan yang tetap steril. Jadi, keduanya merupakan spesies yang berbeda.



- b) *Allopoliploidi*, yaitu terbentuknya poliploid dari persilangan dua individu yang jumlah sel kromosomnya berbeda. Apabila kromosomnya membentuk sinapsis, maka akan steril. Tetapi, apabila kromosomnya berpasangan, maka akan mampu berkembang biak atau fertil. Biasanya, individu triploid ( $3n$ ) tidak dapat melakukan interhibridisasi dengan kedua induknya sehingga dianggap sebagai spesies baru. Umumnya, keturunan yang terbentuk karena allopoliploidi lebih adaptif, lebih besar, dan lebih kuat. Apabila kondisi lingkungan tidak menguntungkan, maka yang akan terkena pengaruh adalah spesies diploidnya.



Kamu telah mempelajari evolusi. Hal-hal penting apa sajakah yang harus diketahui dalam mempelajarinya? Catatlah dalam bentuk rangkuman. Kemudian, tukarlah hasil rangkumanmu dengan rangkuman teman. Berikan masukan dan saran pada rangkuman masing-masing.

## Daftar Istilah

<b>Evolusi</b>	= suatu teori yang menjelaskan bahwa makhluk terbentuk secara tiba-tiba dari benda mati.
<b>Evolusi Biokimia</b>	= suatu teori yang menjelaskan perubahan-perubahan secara perlahan-lahan tentang terbentuknya bahan-bahan organik dari bahan-bahan anorganik.
<b>Evolusi Biologis</b>	= suatu teori yang menjelaskan perubahan makhluk hidup dari tingkat rendah ke tingkat yang lebih tinggi secara perlahan-lahan selama jutaan tahunan.
<b>Fosil</b>	= sisa-sisa makhluk hidup yang berusia ribuan, bahkan jutaan tahun yang telah membatu. Fosil dapat berupa batu, dapat berupa tubuh yang diawetkan secara alami.

## M a r i B e r k o m p e t e n s i

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat di setiap soal-soal berikut.

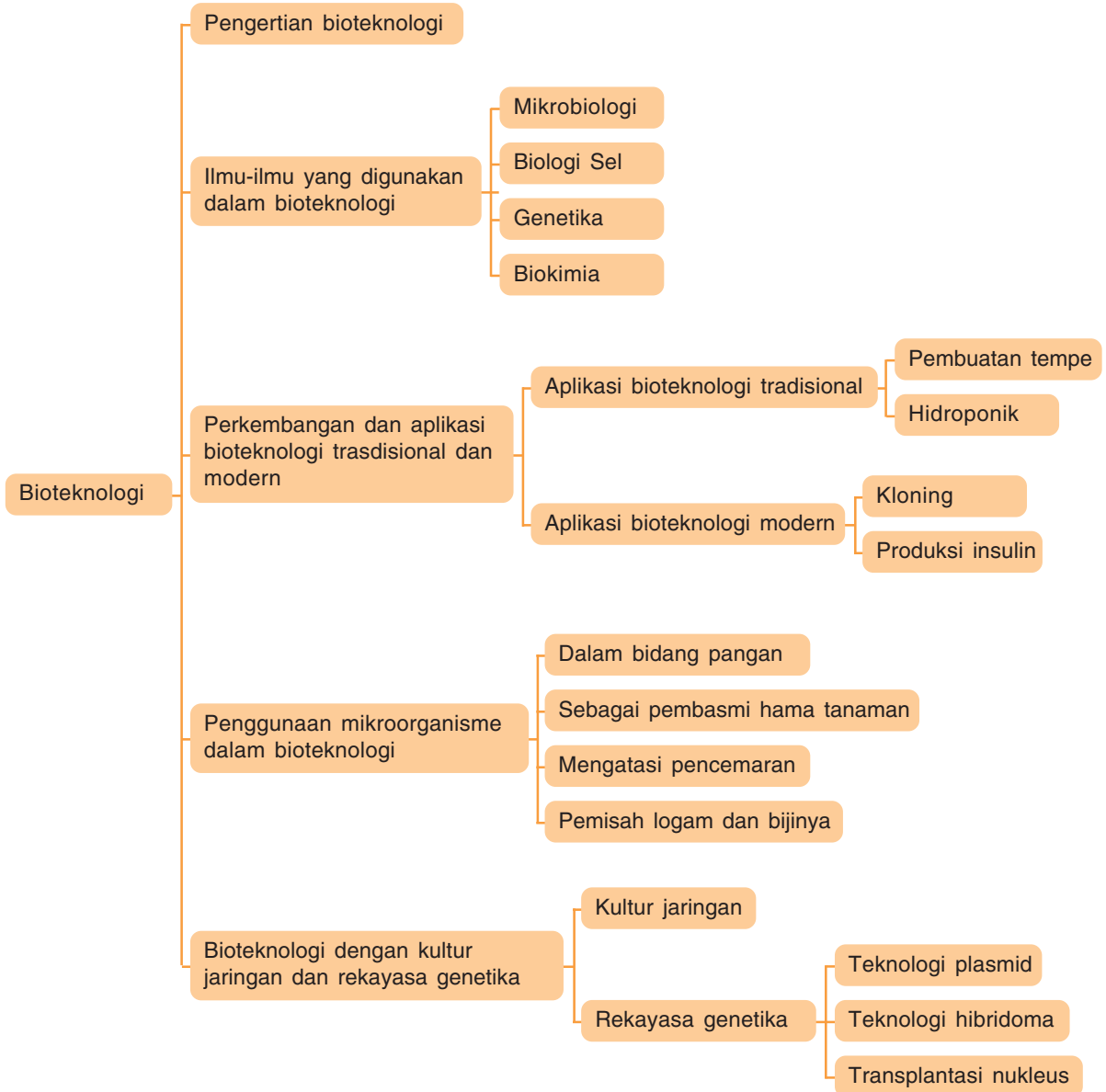
1. Cabang ilmu biologi yang mempelajari sejarah asal-usul makhluk hidup dan keterkaitan genetik antara makhluk hidup satu dengan yang lain, disebut ...
  - a. Evolusi
  - b. Genetika
  - c. Zoologi
  - d. Taksonomi
  - e. Botani
2. Populasi kupu-kupu *Biston betularia* di Inggris, pada lingkungan sesudah revolusi industri didominasi oleh ....
  - a. populasi *Biston betularia* bersayap cerah > dibandingkan yang bersayap gelap
  - b. populasi *Biston betularia* bersayap gelap sama banyak dengan yang bersayap cerah
  - c. populasi *Biston betularia* bersayap gelap > dibandingkan yang bersayap cerah
  - d. populasi *Biston betularia* bersayap gelap dan terang sama-sama punah
  - e. munculnya populasi *Biston betularia* bersayap cerah dan gelap
3. Tokoh yang disebut sebagai Bapak Evolusi adalah ....
  - a. Carollus linnaeus
  - b. J. B Lamarck
  - c. Charles Darwin
  - d. A. Weismann
  - e. T. R. Malthus
4. Darwin mendasarkan teorinya bahwa evolusi terjadi melalui ....
  - a. mutasi
  - b. seleksi alam
  - c. adaptasi
  - d. variasi gen
  - e. pengaruh lingkungan
5. Tumbuhan dan hewan di kepulauan Galapagos mirip dengan tumbuhan dan hewan yang ada di ....
  - a. Amerika Utara
  - b. Amerika Selatan
  - c. Amerika Tengah
  - d. Asia Tenggara
  - e. Australia
6. Fakta evolusi yang diamati Darwin selama perjalanannya ke kepulauan Galapagos adalah ....
  - a. spesies unta
  - b. spesies kura-kura
  - c. spesies iguana
  - d. spesies burung finch
  - e. spesies kura-kura
7. Evolusi jerapah yang berleher panjang disebabkan oleh ....
  - a. isolasi paratrik
  - b. isolasi simpatik
  - c. seleksi alam
  - d. adanya stabilitas
  - e. latihan memanjangkan leher terus menerus
8. Buku yang dikarang Charles Darwin berjudul ....
  - a. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*
  - b. *An Essay on the Principle of Population*
  - c. *Principles of Geology*
  - d. *Mutation*
  - e. *Theory of Particulate Inheritance*
9. Salah satu petunjuk adanya evolusi dengan adanya analogi pada organ-organ tubuh beberapa hewan, seperti ....

- a. tangan manusia dengan tangan orang utan
  - b. sayap serangga pada sayap burung
  - c. sayap kelelawar dengan sayap burung
  - d. sirip paus dengan sirip lumba-lumba
  - e. kaki depan kuda dengan kaki manusia
10. Unit biologi terkecil yang dapat berevolusi adalah ....
- a. individu
  - b. populasi
  - c. keluarga
  - d. spesies
  - e. komunitas
11. Hukum *Hardy-Weinberg* mengasumsikan bahwa ....
- a. perkawinan antara individu jantan dan betina terjadi secara acak
  - b. ada pembatasan perkawinan antara individu jantan dan betina
  - c. terjadi mutasi
  - d. ukuran populasi relatif kecil
  - e. individu baru berasal dari luar masuk kedalam suatu populasi
12. Di bawah ini merupakan mutasi yang menguntungkan, *kecuali* ....
- a. terjadi mutasi
  - b. ukuran populasi besar
  - c. perkawinan acak/random
  - d. tidak terjadi seleksi alam
  - e. ada isolasi dari populasi lain
13. Berikut ini merupakan mutasi yang menguntungkan, *kecuali* ....
- a. dihasilkannya gen letal
  - b. terjadinya mutasi letal
  - c. keturunan yang tidak adaptif
  - d. dihasilkannya keturunan dengan viabilitas dan fertilitas rendah
  - e. dihasilkannya spesies dengan vitalitas dan viabilitas tinggi
14. Pendapat Weismann mengenai teori Evolusi adalah ....
- a. sel tubuh karena pengaruh lingkungan tidak diwariskan pada keturunannya
  - b. gagasan use and diuse (digunakan dan tidak digunakan)
  - c. sifat dan ciri sel tubuh diwariskan kepada keturunannya
  - d. seleksi alam dapat mempengaruhi frekuensi gen pada populasi
  - e. rekombinasi gen merupakan mekanisme penting terjadinya evolusi
15. Di bawah ini merupakan faktor-faktor yang menyebabkan perubahan keseimbangan genetik dalam suatu populasi, *kecuali* ....
- a. mutasi
  - b. seleksi alam
  - c. rekombinasi dan seleksi
  - d. emigrasi dan imigrasi
  - e. perkawinan

**B. Jawablah soal-soal berikut dengan singkat dan jelas.**

1. Apakah yang dimaksud dengan evolusi? Tuliskan tokoh-tokoh yang terlibat di dalamnya.
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan Homologi. Berikan contohnya.
3. Jelaskan perbedaan teori evolusi menurut Lamarck dan Darwin.
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan hukum Hardy-Weinberg.
5. Jelaskan dua teori pokok yang dikemukakan Darwin dalam bukunya yang berjudul "*On the Origin of Species by Means of Natural Selection*".

Peta Konsep





Sumber: Image.google.co.id



**Gambar 8.1**  
Yoghurt dalam kemasan

Pernahkah kamu minum yoghurt? Bagaimanakah rasanya? Yoghurt merupakan salah satu produk hasil Bioteknologi. Bioteknologi merupakan penerapan prinsip-prinsip biologi di bidang industri. Aplikasi bioteknologi sangat luas meliputi bidang pangan, pertanian, peternakan, kedokteran, dan lain-lain. Untuk lebih mengetahui tentang bioteknologi, mari ikuti uraian berikut ini.

## A Pengertian Bioteknologi

*Bioteknologi* berasal dari istilah Latin, yaitu *Bio* (hidup), *teknos* (teknologi = penerapan), dan *logos* (ilmu). Artinya, ilmu yang mempelajari penerapan prinsip-prinsip biologi.

Secara lengkap, bioteknologi diartikan sebagai cabang biologi yang mempelajari penggunaan organisme dengan bantuan teknologi untuk penyediaan barang dan pelayanan bagi kepentingan manusia.

Objek kajian dan aplikasi bioteknologi mulai dari produksi makanan yang difermentasi, bahan kimia berupa antibiotika, enzim, etanol, asam cuka, asam sitrat, hingga produksi energi seperti biogas, fiksasi nitrogen, dan penemuan minyak. Saat ini, aplikasi bioteknologi tidak hanya pada mikroorganisme saja, namun pada tumbuhan dan hewan.

## B Ilmu-Ilmu yang Digunakan dalam Bioteknologi

### 1. Mikrobiologi

Mikrobiologi merupakan cabang biologi yang mempelajari tentang mikroba atau jasad renik. Pengetahuan sifat-sifat dan struktur mikroba mendukung kemajuan *bioteknologi*. Salah satunya dengan mengetahui suhu yang sesuai untuk bakteri. Sehingga, bakteri dapat digolongkan sebagai *psikrofil*: tumbuh pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$  -  $30^{\circ}\text{C}$ , *mesofil*: tumbuh pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  -  $40^{\circ}\text{C}$ , dan *termofil*: tumbuh pada suhu  $50^{\circ}\text{C}$  atau lebih. Pengetahuan tentang suhu optimal bakteri sangat penting untuk pembuatan suatu produk, seperti pembuatan yoghurt. Yoghurt merupakan susu yang difermentasi dengan menggunakan bakteri *Lactobacillus bulgaricus*, pada suhu  $40^{\circ}\text{C}$  selama 2,5 jam - 3,5 jam.

## 2. Biologi Sel

Biologi sel merupakan cabang biologi yang mempelajari sel. Pengetahuan mengenai sifat-sifat dan struktur sel mendukung aplikasi bioteknologi. Misalnya, pengetahuan mengenai *totipotensi* pada sel-sel tanaman bermanfaat untuk kultur jaringan. *Totipotensi* merupakan kemampuan sel-sel tanaman muda dan hidup yang dapat berproliferasi dan berdiferensiasi menjadi tanaman baru.

## 3. Genetika

Genetika merupakan cabang biologi yang mempelajari pewarisan sifat-sifat genetik makhluk hidup dari satu generasi ke generasi berikutnya. Pengetahuan mengenai bentuk dan karakteristik DNA (gen) membantu percepatan kemajuan bioteknologi. Penemuan tomat yang tidak mudah rusak atau busuk, *insulin* manusia yang disintesis dari bakteri *Escherichia coli* merupakan penerapan ilmu genetika dalam bioteknologi.

## 4. Biokimia

Biokimia merupakan cabang ilmu kimia yang mempelajari makhluk hidup dari aspek kimianya. Biokimia menganggap hidup adalah suatu proses kimia, proses-proses hidup diselenggarakan atas dasar reaksi dan peristiwa kimia. Dengan biokimia, ahli bioteknologi memperlakukan makhluk hidup sebagai bahan kimia yang dapat dipadukan dan direkayasa.

Selain Mikrobiologi, Biologi Sel, dan Biokimia, ilmu lain yang juga digunakan dalam Bioteknologi, yaitu *Virologi* (ilmu mengenai virus), Teknologi Pangan, Biologi Pertanian, Biologi Kedokteran, dan Biologi Kehutanan.

Bioteknologi tidak hanya berkembang pada akhir-akhir ini saja. Bioteknologi telah dimanfaatkan sejak ribuan tahun yang lalu, di segala bidang, seperti industri pangan, obat-obatan, pertanian, kesehatan, dan pengelolaan lingkungan. Misalnya, ragi dimanfaatkan untuk pembuatan anggur dan bir (sekitar 6000 SM), pada 4000 SM ragi dimanfaatkan untuk roti yang mengembang, dan pada 1512, bahan kimia yang penting bagi manusia, seperti aseton, butanol, dan gliserol diperoleh dari bakteri.

Di masa lalu, Bioteknologi dilakukan secara sederhana. Perkembangan yang pesat baru terjadi setelah diketahui mikroorganisme melakukan fermentasi. Penelitian ini dipelopori

**C**  
**Perkembangan  
 dan Aplikasi  
 Bioteknologi  
 Tradisional dan  
 Modern**

oleh **Louis Pasteur** sehingga beliau mendapat julukan sebagai *Bapak Bioteknologi*.

Sedangkan, perkembangan Bioteknologi secara modern terjadi setelah penemuan struktur DNA sekitar tahun 1950 yang diikuti dengan penemuan-penemuan lainnya. Penemuan ekspresi gen, enzim pemotong DNA, menciptakan DNA rekombinan dengan menggabungkan DNA dari dua organisme yang berbeda, dan *kloning* merupakan contoh Bioteknologi modern.

Bioteknologi modern merupakan bioteknologi yang didasarkan pada manipulasi atau rekayasa DNA (gen), selain memanfaatkan Mikrobiologi dan Biokimia.

Aplikasi Bioteknologi dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu tradisional dan modern.

## 1. Aplikasi Bioteknologi Tradisional

Aplikasi Bioteknologi tradisional mencakup berbagai aspek, di antaranya:

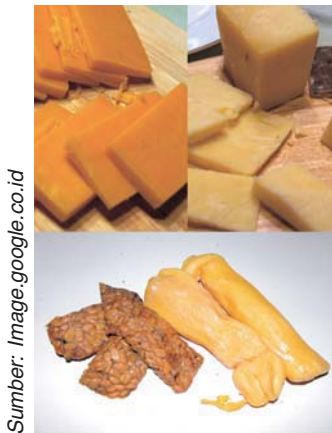
### a. Pangan

Beberapa contoh Bioteknologi tradisional di bidang pangan misalnya, tempe dibuat dari kedelai menggunakan jamur *Rhizopus*, tape dibuat dari ketela pohon atau pisang dengan menggunakan *Khamir Saccharomyces cereviceae*, keju dan yoghurt dibuat dari susu sapi dengan menggunakan bakteri *Lactobacillus*.

### b. Pertanian

Beberapa contoh Bioteknologi tradisional dalam bidang pertanian, ialah:

- 1) Hidroponik, merupakan cara bercocok tanam tanpa menggunakan tanah sebagai tempat menanam tanaman.
- 2) Penyeleksian tanaman jenis mustard alami oleh manusia, menghasilkan tanaman, kolabri, brokoli, kubis, dan kembang kol.



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 8.2**

Contoh bioteknologi di bidang pangan



Sumber: Encarta Library 2005

**Gambar 8.3**

Contoh bioteknologi di bidang pertanian

### c. Peternakan

Bioteknologi tradisional di bidang peternakan, misalnya pada domba *ankon* yang merupakan domba berkaki pendek dan bengkok, sebagai hasil mutasi alami dan sapi *Jersey* yang diseleksi oleh manusia agar menghasilkan susu dengan kandungan krim lebih banyak.

### d. Kesehatan dan pengobatan

Beberapa contoh bioteknologi tradisional di bidang pengobatan, misalnya *antibiotik penisilin* yang digunakan untuk pengobatan, diisolasi dari bakteri dan jamur, dan vaksin yang merupakan mikroorganisme yang toksinnya telah dimatikan bermanfaat untuk meningkatkan imunitas. Secara lengkap, penggunaan mikroorganisme dalam aplikasi Bioteknologi tradisional dapat dilihat pada Tabel 8.1 di bawah ini.



Sumber: Image-google.co.id

**Gambar 8.4**  
Penisilin diisolasi dari bakteri dan jamur

**Tabel 8.1** Contoh Penggunaan Mikroorganisme dalam Aplikasi Bioteknologi Pangan secara Tradisional

No.	Kegunaan atau Produk	Peranan Organisme
1.	Keju	Jamur atau bakteri menggumpalkan dadih susu menjadi keju; mikroba memberikan cita rasa khas keju.
2.	Yoghurt	Fermentasi dalam susu yang telah diambil kepala susunya ( <i>skim milk</i> ) memberikan susunan dan cita rasa yang khas.
3.	Fermentasi	Ragi ( <i>Khamir</i> , "Yeast") memfermentasikan gula menjadi alkohol, menghasilkan anggur atau bir; bakteri meragikan sari buah-buahan menjadi asam asetat (cuka).
4.	Kecap	Jamur memfermentasi kacang kedelai.
5.	Suplemen makanan	Mikroba menghasilkan protein sel tunggal, vitamin, asam-asam amino, dan peningkat cita rasa makanan.
6.	Obat-obatan	Mikroba menghasilkan antibiotika yang melawan infeksi dan agen atau perantara kemoterapi yang melawan kanker; zat kimia berasal dari jamur ( <i>sikloporin</i> ) menekan penolakan organ yang dicangkokkan; tumbuhan dan tumbuhan lumut menyediakan bahan kasar untuk berbagai obat-obatan.
7.	Bahan celup	Bahan celup dibuat dari pigmen yang diekstrak dari tumbuhan dan tumbuhan lumut.
8.	Pengelolaan limbah air	Bakteri yang tidak membahayakan mengubah limbah air menjadi aman dengan cara mengganti atau secara langsung membunuh patogen di dalam limbah air; mikroba juga mencerna sebagian besar polutan organik dalam limbah air sehingga dapat kembali aman bagi lingkungan.
9.	Hidroponik	Tumbuhan panen atau pertanian yang ditanam dalam air yang lebih banyak mengandung tambahan nutrisi daripada tanahnya.



10.	Minyak wangi dan kosmetik lain	Dasar untuk kosmetik ini disuplai oleh tumbuhan, jamur, dan tumbuhan lumut.
11.	Pertambangan tembaga	Bakteri <i>Thiobacillus ferrooxidans</i> mengekstrak logam dari bijih tembaga yang berkualitas rendah.
12.	Pengeras	Ini merupakan pengeras yang digunakan untuk memadatkan media kultur mikrobiologi (agar-agar yang diperoleh dari ganggang merah).
13.	Pengental	Bahan kimia yang dinamakan <i>alginat</i> (diperoleh dari ganggang) menjaga kekentalan roti puding, odol, cat, sabun, krim, dan lain produk didasarkan pada minyak dan air yang sebaliknya akan memisahkan menjadi zat cair.
14.	Tanah yang penuh dengan kulit kerang diatom	Daerah permukaan kulit kerang diatom membuat bahan ini sebagai filter atau penyaring yang bagus. Tanah yang penuh dengan kulit kerang atau diatom juga merupakan alat penggosok atau pengilap yang bagus.
15.	Emas refraktori	Bakteri <i>T. ferrooxidans</i> merombak logam (Cu, Fe) pembungkus bijih emas hingga diperoleh bijih emas murni.
16.	Produksi enzim untuk makanan dan deterjen	Enzim dari mikroba mengentalkan susu untuk produksi keju; enzim yang mencerna protein melunakkan daging; enzim laktase yang ditambahkan pada produk-produk perusahaan susu mengurangi reaksi alergi terhadap susu; enzim dalam deterjen cucian binatu membongkar noda-noda protein pada kain.
17.	Bahan bakar	Ganggang <i>Chlorella</i> mengubah sampah menjadi minyak yang mudah terbakar.
18.	Kapas dari nonpertanian	Bakteri menghasilkan serabut selulosa bila ditumbuhkan dalam media kultur.
19.	Vaksin	Semua gen atau media yang mempunyai kekebalan khusus terhadap penyakit dihasilkan dari mikroorganisme. Secara tradisional, patogen dikembangbiakkan dan dilemahkan atau dijadikan tidak aktif. Penggunaan secara modern mikroba yang telah direayasa secara genetika untuk memberikan vaksin.

## 2. Aplikasi Bioteknologi Modern

Bioteknologi modern merupakan bioteknologi yang didasarkan pada rekayasa DNA (gen). Selain itu, memanfaatkan dasar mikrobiologi dan biokimia.

Aplikasi Bioteknologi modern mencakup berbagai aspek kehidupan manusia, misalnya aspek pangan, pertanian, peternakan hingga kesehatan dan pengobatan.

### a. Pangan

Bioteknologi modern pada bidang pangan, misalnya buah tomat hasil manipulasi genetik sehingga tahan lama, tidak cepat matang, dan tidak cepat membusuk; kentang yang telah mengalami mutasi genetik hingga kadar pati kentang meningkat 20% dari kentang biasa.

Sumber: Image.google.co.id



**Gambar 8.5**  
Tomat hasil rekayasa genetik

### b. Pertanian

Beberapa Bioteknologi modern pada bidang pertanian, misalnya tanaman kedelai tengger dan kedelai hijau camar yang berumur pendek dengan produktivitas tinggi diperoleh dari radiasi seleksi biji-biji kedelai.

### c. Peternakan

Bioteknologi modern pada bidang peternakan, misalnya, pembelahan embrio secara fisik (*splitting*) mampu menghasilkan kembar identik pada domba, sapi, babi, dan kuda. Dengan teknologi yang modern telah dikembangkan teknologi *kloning* yang menghasilkan klon dari sel somatik.

### d. Kesehatan dan pengobatan

Beberapa bioteknologi modern pada bidang kesehatan dan pengobatan, antara lain: hormon pertumbuhan *somatotropin* yang dihasilkan oleh *Escherichia coli* dan manipulasi produksi vaksin dengan menggunakan *Escherichia coli* agar efisien. Selain itu, untuk menghasilkan insulin secara massal dilakukan rekayasa genetika dengan menggunakan enzim dan bakteri.



Sumber: Encarta Library 2005

**Gambar 8.6**  
Domba hasil *kloning*

Bioteknologi umumnya menggunakan mikroorganisme, seperti bakteri dan khamir (kapang) dengan alasan sebagai berikut:

- 1) pertumbuhannya cepat, walaupun dalam skala besar seperti industri;
- 2) sel-selnya mengandung protein yang tinggi;
- 3) dapat menggunakan produk-produk sisa sebagai substratnya, misalnya dari limbah pertanian;
- 4) menghasilkan produk yang tidak toksik;
- 5) sebagai organisme hidup, reaksi biokimianya dikontrol oleh enzim yang berarti tidak memerlukan tambahan reaktan dari luar.

Pemanfaatan mikroorganisme telah digunakan pada bioteknologi tradisional maupun modern. Bioteknologi yang menggunakan mikroorganisme, antara lain: digunakan dalam bidang pangan, obat-obatan, pembasmian hama tanaman, pencemaran, dan pemisahan logam dari bijih logam.

## 1. Pemanfaatan Mikroorganisme dalam Bidang Pangan

### a. Pemanfaatan mikroba untuk menghasilkan protein

Protein merupakan bahan makanan yang mutlak diperlukan manusia. Protein yang dihasilkan dengan

## D Penggunaan Mikroorganisme dalam Bioteknologi

memanfaatkan mikroorganisme disebut SCP (*Single Cell Protein*) protein sel tunggal. SCP ini mempunyai kadar protein hingga 80% lebih tinggi dibandingkan protein kedelai dan ragi.

Beberapa mikroorganisme yang efektif untuk pembuatan SCP antara lain: *Methylophylus methylotropus*. SCP ini biasa digunakan untuk makanan ternak agar hewan ternak mampu menghasilkan susu dan daging berkualitas tinggi. *Fusarium*, SCP yang digunakan untuk nutrisi manusia.

## b. Penggunaan jasa mikroorganisme untuk mengubah makanan

Melalui proses fermentasi yang dilakukan mikroorganisme, bahan makanan tertentu diubah menjadi bahan bentuk lain sehingga cita rasanya lebih menarik atau mengandung nilai gizi yang lebih tinggi. Contoh makanan ini ialah keju, mentega, roti, alkohol, dan cuka.

### 1) Keju

Keju bahan utamanya adalah dadih yang dipisahkan dari *Whey* (air dadih utama). Dadih dibuat dari protein kasein yang umumnya terbentuk karena aktivitas enzim renin dan kondisi asam yang ditimbulkan karena aktivitas bakteri asam laktat. Bakteri yang dibiarkan pada media keju menyebabkan proses fermentasi yang memberikan suasana asam. Selain itu, juga memberikan cita rasa khas dan bau harum (aroma) pada produk susu tersebut. Makin lama masa inkubasinya, makin tinggi keasamannya dan makin tajam cita rasanya. Mikroorganisme yang digunakan dalam pembuatan keju ialah jamur *Penicillium camemberti*.

### 2) Mentega

Mentega dibuat dengan mengaduk kepala susu (krim) hingga tetesan-tetesan mentega yang berlemak memisah dari susu mentega. Susu mentega adalah cairan susu yang tinggal setelah membuat mentega.

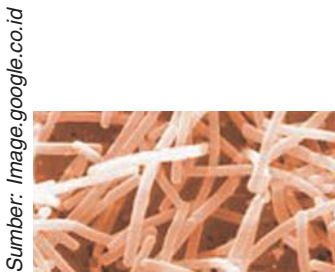
Krim (kepala susu) memiliki rasa masam dan digunakan untuk pembuatan produk lain, seperti yoghurt. Yoghurt dibuat dari krim yang ditanami mikroorganisme seperti yang digunakan membuat susu mentega.

Yoghurt banyak kamu jumpai di toko. Yoghurt terbuat dari susu dengan lemak kadar rendah yang sebagian airnya telah diuapkan. Untuk meningkatkan keasamannya, susu kental yang terbentuk ditanami dengan *Streptococcus thermophilus*, sedangkan untuk meningkatkan cita rasa dan aroma ditanami *Lactobacillus bulgaris*.



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 8.7**  
Jamur *Penicillium camemberti*



Sumber: Image.google.co.id

**Gambar 8.8**  
*Lactobacillus bulgaris*

**Mari Berdiskusi**

Diskusikan dengan teman sebangkumu. Bagaimanakah kandungan gizi yoghurt? Apakah yoghurt berpengaruh pada lambung?

Fermentasi *Lactobacillus bulgaris* berlangsung pada substrat yang bertemperatur 45° C selama beberapa jam. Pada temperatur tersebut *Lactobacillus bulgaris* masih mungkin tumbuh dan berkembang. Untuk menjaga cita rasa, aroma, dan keasamannya maka perlu dijaga keseimbangan antara kedua jenis mikroorganisme tersebut.

### c. Fermentasi makanan nonsusu

Pemanfaatan mikroorganisme, seperti ragi banyak digunakan dalam pembuatan roti, asinan, minuman alkohol, minuman anggur, dan cuka.

Dalam pembuatan roti, adonan roti akan ditanami ragi yang sebenarnya kultur spora suatu jenis jamur. Spora jamur akan tumbuh dan memfermentasi gula dalam adonan, dan terbentuklah gelembung-gelembung karbondioksida. Fermentasi yang berlangsung dalam kondisi aerob ini akan mendorong produksi CO<sub>2</sub>.

Pada pembuatan asinan kubis atau *sauerkraut*, acar, dan *olive* maupun kecap diperlukan mikroba jamur penghasil enzim yang mampu mengubah zat tepung menjadi gula yang dapat difermentasikan. Prinsip ini juga digunakan dalam pembuatan *brem* dan minuman khas Jepang, *sake* yang dibuat dari ketan dan beras.

Dalam pembuatan kecap diperlukan jamur *Aspergillus oryzae*. Jamur ini dibiakkan dalam kulit gandum terlebih dahulu. Selanjutnya, jamur ini bersama-sama bakteri asam laktat yang tumbuh pada kedelai yang sudah dimasak, menghancurkan campuran gandum. Setelah melalui fermentasi karbohidrat yang cukup lama, dihasilkanlah kecap.

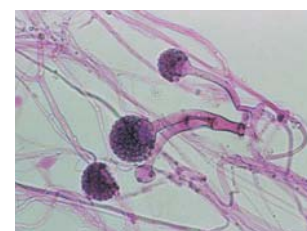
Beberapa jenis mikroba yang digunakan untuk mengubah bahan makanan menjadi bentuk lain, misalnya:

- 1) *Rhizopus oligospora* untuk membuat tempe dengan substrat kedelai.
- 2) *Neurospora sitophila* untuk membuat oncom dengan substrat kacang tanah.
- 3) *Saccharomyces cerevisiae* untuk membuat tape dengan substrat ketan atau singkong atau ubi kayu.
- 4) *Acetobacter xulinum* untuk membuat nata de coco dengan substrat air kelapa.

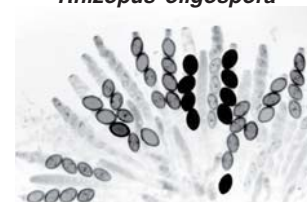
### d. Pembuatan alkohol dan asam cuka

#### 1) Proses pembuatan alkohol

Hampir semua pembuatan minuman beralkohol, seperti bir, ale, dan anggur memerlukan jasa mikroorganisme. Bir dan ale dibuat dari tepung biji padi-padian yang difermentasi oleh ragi. Ragi tidak dapat menggunakan tepung secara langsung.



*Rhizopus oligospora*



*Neurospora sitophila*



*Saccharomyces cerevisiae*

Sumber: Image.google.co.id

#### Gambar 8.9

Contoh mikroba yang digunakan untuk mengubah bahan makanan ke bentuk lain.

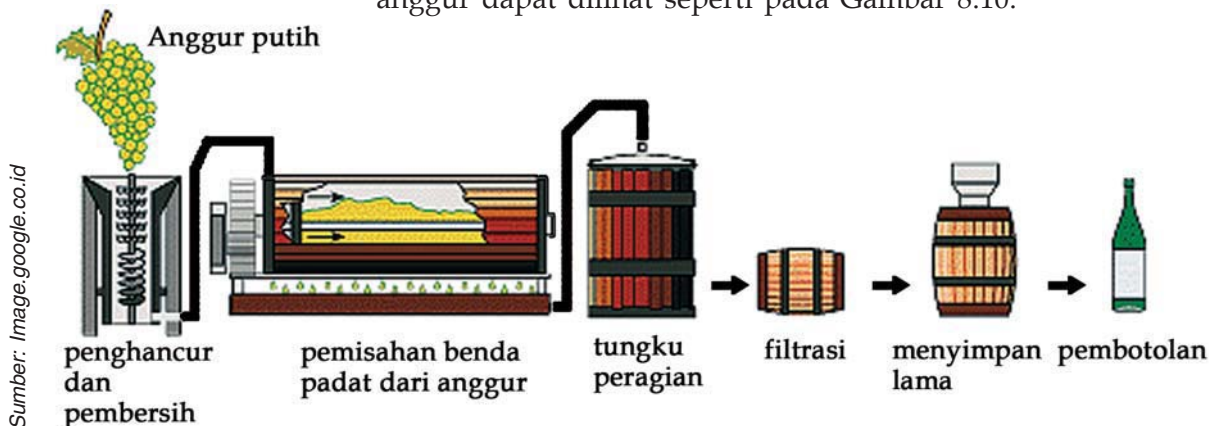


Tepung tersebut diubah terlebih dahulu menjadi glukosa atau maltosa. Selanjutnya, glukosa dan maltosa difermentasi menjadi etanol dan  $\text{CO}_2$ .

Dalam proses pembuatan minuman ini, *malting*, yaitu biji padi-padian dibiarkan berkecambah, terus dikeringkan, selanjutnya digiling menghasilkan *malt*. Malt ini mengandung enzim amilase yang mampu mengubah amilum menjadi glukosa dan maltosa sehingga dapat difermentasi oleh ragi.

Pada pembuatan minuman keras berkadar alkohol tinggi, seperti vodka, wiski, dan rum, karbohidrat dari biji padi-padian, kentang dan sirup atau tetes gula difermentasi menghasilkan alkohol. Selanjutnya, alkohol ini disuling untuk menghasilkan minuman berkadar alkohol tinggi.

Minuman anggur atau *wine* dapat dibuat dari buah anggur maupun dari buah lain. Karena buah anggur mengandung gula, maka langsung dapat difermentasikan oleh ragi. Jika bahannya selain buah anggur, untuk meningkatkan produksi alkoholnya perlu ditambah gula. Tahapan proses pembuatan anggur dapat dilihat seperti pada Gambar 8.10.



**Gambar 8.10**  
Proses pembuatan anggur

### b. Proses pembuatan cuka

Bahan dasar pada proses pembuatan cuka adalah etanol yang dihasilkan oleh fermentasi anaerob oleh ragi. Oleh bakteri asam asetat, seperti *Acetobacter* dan *Gluconobacter*, etanol akan dioksidasi menjadi asam asetat.

Masih banyak lagi bahan makanan yang diubah melalui proses fermentasi sehingga dihasilkan variasi makanan atau minuman.

**Mari Berdiskusi**  
Diskusikan dengan teman sekelompokmu. Bagaimana proses pembuatan asam cuka? Coba kamu cari literatur dibuku atau majalah.



**Tabel 8.2** Beberapa Makanan yang Difermentasi dan Jenis Mikroba yang Diperlukan

No.	Makanan/produk	Bahan mentah	Mikroorganisme	Lokasi produk
<b>Produk dari Perusahaan Susu</b>				
1.	Keju Swiss	Susu	<i>Propioni bacterium skerma manis</i>	Eropa, Amerika
2.	Keju (masak) Keju biru	Dadih susu susu	<i>Streptococcus sp.</i> <i>Penicillium roqueforti</i> <i>Leuconostoc sp.</i>	Meliputi seluruh dunia Meliputi seluruh dunia
3.	Krim asam	Susu skim	<i>Streptococcus lactis</i> <i>Lactobacillus lactis</i>	Meliputi seluruh dunia
4.	Kefir	Susu	<i>Streptococcus lactis</i> <i>Lactobacillus bulgaricus</i> <i>Candida sp.</i>	Asia Barat Daya
5.	Kurmiss	Susu kuda domba	<i>L. bulgaricus</i> <i>Lactobacillus leichmannii</i> <i>Candida sp.</i>	Rusia
6.	Yogurt	Susu	<i>Streptococcus thermophilus</i> <i>L. bulgaricus</i>	Meliputi seluruh dunia
7.	Taette		<i>S. lactis var taette</i>	Skandinavia
<b>Produk Daging dan Ikan</b>				
1.	Sosis kering	Daging sapi atau babi	<i>Pediococcus cereviceae</i>	Eropa, Amerika Serikat
2.	Saus ikan	Ikan kecil	<i>Halophilic becillus sp.</i>	Asia Tenggara
3.	Izushi	Ikan segar beras sayuran	<i>Lactobacillus sp.</i>	Jepang
<b>Produk Tanaman Bukan Minuman</b>				
1.	Biji cokelat	Buah cokelat	<i>Candida krussek</i> <i>Geitrichum sp.</i>	Afrika, Amerika Serikat
2.	Biji kopi	Buah kopi	<i>Erwinia dissolvens</i> <i>Saccharomyces sp.</i>	Brasil, Kongo, Hawaii, India
3.	Kimchi	Kubis dan sayur- an lainnya	Bakteri asam laktat	Korea
4.	Miso	Kacang kedelai	<i>Aspergillus oryzae</i> <i>Saccharomyces ruoxii</i>	Jepang

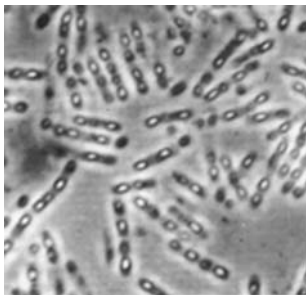
5.	Olive	Olive hijau	<i>Leuconostic mesenterodes</i> <i>Lactobacillus pantarum</i>	Meliputi seluruh dunia
6.	Poi	Akar talas/keladi	Bakteri asam laktat	Hawaii
7.	Asinan kubis (sauerkraut)	Kubis	<i>L. mesenteroides</i> <i>L. plantarum</i>	Meliputi seluruh dunia
8.	Tauco	Kedelai	<i>Aspergillus oryzae</i>	Asia
9.	Kecap	Kedelai	<i>A. oryzae</i> atau <i>Aspergillus soyae</i> <i>S. ruoxii</i>	Jepang, Indonesia
10.	Tempe	Kedelai	<i>Rhizopus oligosporus</i> <i>Rhizopus oryzae</i>	Indonesia, Suriname, Irian Timur (Papua)
11.	Sayur Asin	Sawi hijau	Bakteri asam laktat	Meliputi seluruh dunia
<b>Roti</b>				
1.	Idli	Tepung beras & tepung kacang	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	India bagian selatan
2.	kue-kue	Tepung gandum	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Meliputi seluruh dunia
3.	Roti adonan Masaur dari San Francisco	Tepung gandum	<i>Saccharomyces exyguus</i>	California bagian utara (Amerika Serikat)

## 2. Mikroorganisme sebagai Pembasmi Hama Tanaman

Banyak bakteri yang hidup sebagai parasit pada jenis organisme saja dan tidak mengganggu atau merugikan organisme jenis lainnya. Sifat mikroorganisme semacam ini dapat dimanfaatkan dalam Bioteknologi pembasmian hama atau dikenal dengan *biological control*. Contohnya, adalah bakteri hasil rekayasa yang disebut *bakteri minumes*, merupakan keturunan dari *Pseudomonas*. Bakteri ini dapat melawan pembentukan es selama musim dingin. Contoh lain adalah penggunaan bakteri *Bacillus thuringensis* yang patogen terhadap ulat hama tanaman. Pengembangan bakteri memberikan banyak keuntungan. Pembasmian ulat hama dengan menggunakan *Bacillus thuringensis* ternyata tidak menimbulkan dampak negatif kepada lingkungan serta tidak meninggalkan residu.

Cara lain mengatasi hama tanaman adalah dengan menghambat perkembangbiakan hewan hama. Caranya adalah menyemprotkan *feromon insekta* pada lahan pertanian. *Feromon* adalah substansi yang dikeluarkan hewan dan menyebabkan respon pada hewan sejenis seperti respon untuk seksualnya menurun. Akibatnya, populasi hewan hama akan berkurang secara perlahan-lahan.

Sumber: Image.google.co.id



**Gambar 8.11**  
*Bacillus thuringensis*

### 3. Peran Mikroorganisme dalam Mengatasi Pencemaran

Salah satu dampak dari peledakan jumlah penduduk dan perkembangan teknologi adalah pencemaran terhadap lingkungan. Sebenarnya, pada batas-batas tertentu lingkungan sekitar kita masih mampu membersihkan dirinya dari segala macam zat pencemar. Namun, kalau jumlahnya sudah melebihi kemampuan lingkungan, maka untuk mengatasinya memerlukan keterlibatan manusia.

Untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan ini, para pakar telah mencoba merekayasa mikroba untuk mendapatkan strain mikroba yang membantu mengatasi pencemaran, khususnya pencemaran limbah beracun. Apabila konsentrasinya berada di atas ambang batas, maka akan mengancam kelangsungan organisme yang lain.

Yang dikembangkan saat ini antara lain, penanganan limbah oleh mikroorganisme yang mampu menghasilkan gas hidrogen. Mikroba tersebut adalah *Clostridium butyrium*. Dalam hal ini, bakteri akan mencerna dan menguraikan gula serta menghasilkan gas hidrogen. Gas ini dapat digunakan sebagai bahan bakar yang tidak menimbulkan polusi.

### 4. Mikroorganisme sebagai Pemisah Logam dari Bijihnya

Selama ribuan tahun, penyulingan minyak atau mineral dan memisahkan tembaga dari bijih yang berkualitas rendah dengan proses *leaching* atau meluluhkan. Pada 1957, berhasil dikembangkan teknik pemisahan tembaga dari bijihnya dengan menggunakan jasa bakteri.

Bakteri yang dapat memisahkan tembaga dari bijihnya adalah *Thiobacillus ferrooxidans* yang berasal dari hasil oksidasi senyawa anorganik khususnya senyawa besi dan belerang. Bakteri ini termasuk jenis bakteri *khemolitotrop* atau bakteri pemakan batuan. Bakteri *khemolitotrop* tumbuh subur pada lingkungan yang miskin senyawa organik, karena mampu mengekstrak karbon langsung dari CO<sub>2</sub> di atmosfer.

Proses pemisahan tembaga dari bijihnya berlangsung sebagai berikut.

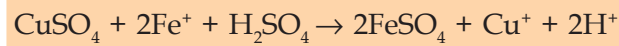
Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* mengoksidasi senyawa besi belerang (besi sulfida) di sekelilingnya. Proses ini membebaskan sejumlah energi yang digunakan untuk membentuk senyawa yang diperlukannya. Selain energi, proses oksidasi tersebut juga menghasilkan senyawa asam sulfat dan besi sulfat yang dapat

menyerang batuan di sekitarnya serta melepaskan logam tembaga dari bijihnya. Jadi, aktivitas *Thiobacillus ferrooxidans* akan mengubah tembaga sulfida yang tidak larut dalam air menjadi tembaga sulfat yang larut dalam air.

Pada saat air mengalir melalui bebatuan, senyawa tembaga sulfat ( $\text{CuSO}_4$ ) akan ikut terbawa dan lambat laun terkumpul pada kolam berwarna biru cemerlang.

Proses pemisahan logam dari bijihnya secara besar-besaran dapat dijelaskan sebagai berikut.

Bakteri ini secara alami terdapat di dalam larutan peluluh. Penambang tembaga akan menggerus batu pengikat logam atau tembaga dan akan menyimpannya ke dalam lubang tempat buangan. Kemudian, mereka menuangkan larutan asam sulfat ke tempat buangan tersebut. Saat larutan peluruh mengalir melalui dasar tempat buangan, larutan peluluh akan mengandung tembaga sulfat. Selanjutnya, penambang akan menambah logam besi ke dalam larutan peluluh. Tembaga sulfat akan bereaksi dengan besi membentuk besi sulfat yang mampu memisahkan logam tembaga dari bijinya.



Secara umum, *Thiobacillus ferrooxidans* membebaskan tembaga dari bijih tembaga dengan cara bereaksi dengan besi dan belerang yang melekat pada batuan sehingga batuan mengandung senyawa besi dan belerang, misalnya  $\text{FeS}_2$ . Saat larutan peluluh mengalir melalui batu pengikat bijih, bakteri mengoksidasi ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan mengubahnya menjadi  $\text{Fe}^{3+}$ .

Unsur belerang yang terdapat dalam senyawa  $\text{FeS}_2$  dapat bergabung dengan ion  $\text{H}^+$  dan molekul  $\text{O}_2$  membentuk asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Bijih yang mengandung tembaga dan belerang, misalnya  $\text{CuS}$ , ion  $\text{Fe}^{3+}$  akan mengoksidasi ion  $\text{Cu}^+$  menjadi tembaga divalen atau  $\text{Cu}^{2+}$ . Selanjutnya, bergabung dengan ion sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) yang diberikan oleh asam sulfat untuk membentuk  $\text{CuSO}_4$ .

Dengan cara tersebut, bakteri tersebut mampu menghasilkan tembaga kelas tinggi. Selain itu, bakteri pencuci, seperti *Thiobacillus* juga dapat digunakan untuk memperoleh logam berkualitas tinggi, seperti emas, galium, mangan, kadmium, nikel, dan uranium.

## 1. Kultur Jaringan

Aspek bioteknologi yang penting pada tanaman adalah *kultur jaringan tumbuhan*. Kultur jaringan tumbuhan merupakan salah satu teknik kloning tumbuhan. Suatu klon tumbuhan merupakan populasi tumbuhan yang diproduksi secara aseksual dari satu nenek moyang.

Kultur jaringan tumbuhan (mikropropagasi) adalah bentuk perbanyakan (propagasi) tumbuhan secara vegetatif dengan memanipulasi jaringan somatik (jaringan tubuh) tumbuhan di dalam kultur aseptik (bebas kuman) dengan lingkungan terkontrol.

Kultur jaringan tumbuhan utuh dapat dihasilkan dari bagian atau potongan akar, batang, atau daun yang disebut *eksplan* yang masih hidup.

Eksplan dapat membentuk tumbuhan yang utuh (*planlet*) karena adanya sifat totipotensi. Totipotensi pada tumbuhan merupakan kemampuan sel tumbuhan untuk berkembang menjadi tumbuhan yang utuh. Pada tumbuhan, semua bagian sel-sel mudanya yang masih aktif, misalnya ujung akar, ujung batang, dan meristem sekunder (kambium) merupakan sel yang totipoten.

Potongan jaringan tumbuhan yang terdiri atas sejumlah kecil sel-sel pada medium kultur yang sesuai dan dibiarkan tumbuh menjadi massa sel yang belum terdiferensiasi disebut sebagai kalus. Medium kultur membutuhkan gula, garam-garam anorganik, nitrogen organik, dan unsur-unsur mikro. Di dalam medium ditambahkan juga hormon pertumbuhan untuk tumbuh, yaitu auksin dan sitokinin. Komposisi yang tepat dari medium kultur tergantung pada spesies tumbuhan yang akan di klon.

## 2. Rekayasa Genetika

Keberhasilan *Watson* dan *Crick* menemukan model DNA, dan pemecahan masalah sandi genetik oleh *Nirenberg* dan *Mather* membuka jalan bagi penelitian-penelitian selanjutnya di bidang rekayasa genetika. Sandi-sandi genetik pada gen (DNA) ini digunakan untuk penentuan urutan asam-asam amino pembentuk protein (enzim). Pengetahuan ini memungkinkan manipulasi sifat makhluk hidup atau manipulasi genetik untuk menghasilkan makhluk hidup dengan sifat yang diinginkan. Manipulasi atau perakitan materi genetik dengan menggabungkan dua DNA dari sumber yang berbeda akan menghasilkan DNA rekombinan.

## E Bioteknologi dengan Kultur Jaringan dan Rekayasa Genetika



Diskusikan dengan teman sebangkumu.

Apa keuntungan dari kultur jaringan?



**Gambar 8.12**  
Model DNA Watson dan Crick

Sumber: [Image.google.co.id](https://image.google.co.id)



Penggunaan DNA dalam rekayasa genetika untuk menggabungkan sifat makhluk hidup, karena DNA mengatur sifat-sifat makhluk hidup yang dapat diturunkan dan struktur DNA dari makhluk hidup apapun adalah sama.

Ada beberapa cara untuk mendapatkan DNA rekombinan melalui rekayasa genetika, di antaranya adalah teknologi plasmid, fusi sel (teknologi hibridoma), dan transplantasi inti.

### 3. Teknologi Plasmid

Molekul DNA berbentuk sirkuler yang terdapat dalam sel bakteri atau ragi disebut *plasmid*. Plasmid merupakan molekul DNA nonkromosom yang dapat berpindah dari bakteri satu ke bakteri yang lain dan mempunyai sifat pada keturunan bakteri sama dengan induknya.

Selain itu, plasmid juga dapat memperbanyak diri melalui proses replikasi sehingga dapat terjadi pengklonan DNA yang menghasilkan plasmid dalam jumlah banyak. Karena sifat-sifat plasmid yang menguntungkan, maka plasmid digunakan sebagai vektor atau pembawa gen untuk memasukkan gen ke dalam sel target.

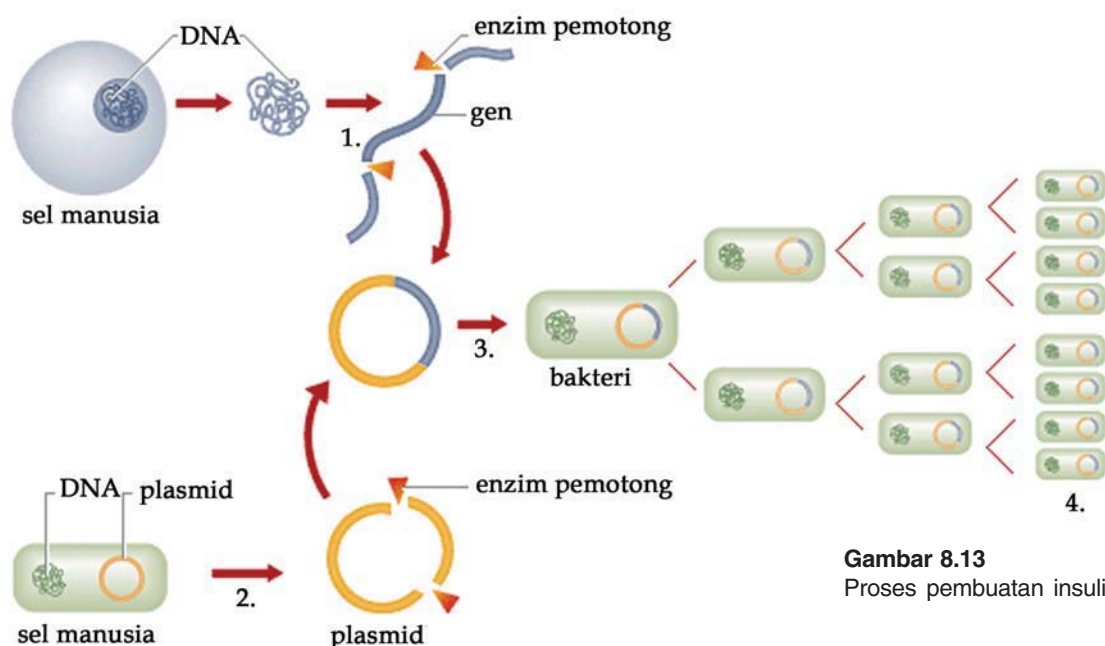
Contoh aplikasi penggunaan teknologi plasmid yang telah dikembangkan manusia adalah produksi insulin secara besar-besaran. Insulin dibuat di dalam tubuh manusia dengan dikontrol oleh gen insulin. Insulin ini kemudian diambil dari pulau langerhans tubuh manusia, lalu disambungkan ke dalam plasmid bakteri. Untuk menghubungkan gen insulin dengan plasmid diperlukan rekombinasi genetik. Dalam rekombinasi DNA dilakukan pemotongan dan penyambungan DNA.

Proses pemotongan dan penyambungan tersebut menggunakan enzim pemotong dan penyambung. Enzim pemotong dikenal sebagai enzim restriksi atau enzim penggunting yang bernama *restriksi endonuklease*. Enzim pemotong ini jumlahnya banyak dan setiap enzim hanya dapat memotong urutan basa tertentu pada DNA. Hasil pemotongannya berupa sepinggal DNA berujung runcing yang komplemen. Selanjutnya, DNA manusia yang diinginkan disambungkan ke bagian benang plasmid yang terbuka dengan menggunakan enzim ligase DNA yang mengkatalis ikatan fosfodiester antara dua rantai DNA.

Potongan DNA antara gen manusia dengan benang plasmid ini bisa menyambung karena endonuklease yang digunakan untuk memotong DNA manusia dan benang plasmid tersebut sama jenisnya. Sehingga, dihasilkan ujung-ujung yang sama strukturnya.

Gen manusia dan plasmid yang telah menyatu membentuk lingkaran plasmid ini disebut *kimera* (DNA rekombinan). Kimera tersebut kemudian dimasukkan ke dalam sel target *E. coli*. Bakteri ini akan hidup normal dan memiliki tambahan yang sesuai dengan sifat gen yang disisipkan. Bakteri *E. coli* kemudian di kultur untuk dikembangbiakkan. Bakteri tersebut kemudian mampu menghasilkan hormon insulin manusia.

Hormon insulin ini akhirnya dapat dipanen untuk digunakan oleh orang yang membutuhkannya. Keuntungan dari insulin hasil rekayasa genetik ini adalah insulin tersebut bebas dari protein hewan yang tercemar yang sering menimbulkan alergi.



**Gambar 8.13**  
Proses pembuatan insulin

Sumber: Encarta Library 2005

#### 4. Fusi Sel (teknologi hibridoma)

Fusi sel (teknologi hibridoma) merupakan proses peleburan atau penyatuan dua sel dari jaringan atau spesies yang sama atau berbeda sehingga dihasilkan sel tunggal yang mengandung gen-gen dari kedua sel yang berbeda tersebut. Sel tunggal ini dinamakan *hibridoma* yang mempunyai sifat-sifat kedua sel.

Contoh penggunaan teknologi hibridoma adalah produksi antibodi dalam skala besar. Antibodi adalah protein yang dihasilkan oleh sel limfosit B atau sel T yang bertugas melawan setiap benda asing (anti gen) yang masuk ke dalam tubuh. Antibodi tertentu akan melawan antigen tertentu pula.

Dalam proses fusi sel, sel B atau sel T dijadikan sebagai sel sumber gen yang memiliki sifat yang diinginkan, yaitu mampu

memproduksi anti bodi. Sedangkan, sel wadah atau sel target digunakan sel mieloma atau sel kanker yang mampu membelah diri dengan cepat dan tidak membahayakan manusia. Kemudian, sel B atau sel T difusikan dengan sel mieloma. Untuk mempercepat fusi sel, digunakan fusi gen (zat yang mempercepat terjadinya fusi). Contoh fusi gen adalah CSCI<sup>++</sup>, polietilenglikol (PEG), virus, dan NaNO<sub>3</sub>. Hasil fusi antara sel limfosit B dengan sel mieloma menghasilkan hibridoma yang memiliki gen penghasil antibodi seperti induknya (sel B) dan dapat membelah dengan cepat seperti sel mieloma.

Manfaat teknologi hibridoma yang lain, misalnya dalam pemetaan genom manusia dan menyilangkan spesies secara genetik dalam sel eukariotik.

## 5. Transplantasi Inti (nukleus)

Transplantasi inti (nukleus) ialah pemindahan inti dari sel satu ke sel yang lain. Sehingga diperoleh individu baru yang mempunyai sifat sesuai dengan inti yang diterima.

Transplantasi nukleus contohnya pada sel domba. Nukleus dari sel-sel ambing domba yang diploid dimasukkan ke dalam ovum tanpa inti sehingga terbentuk ovum berinti diploid dari ambing domba. Kemudian ovum melakukan pembelahan mitosis berulang kali menghasilkan *morula*, kemudian *blastula*. Lalu blastula diklonkan menjadi banyak sel dan inti dari setiap sel diambil untuk dimasukkan ke dalam ovum tak berinti yang berbeda sehingga terbentuk ovum diploid dalam jumlah banyak. Masing-masing ovum dikultur secara *in vitro* dan akhirnya setiap ovum menjadi individu baru yang memiliki sifat dan jenis kelamin yang sama.

*E. coli* dipilih sebagai sel target karena *E. coli* mudah diperoleh dan dipelihara, tidak mengandung gen yang membahayakan dan dapat membelah diri setiap 20 menit sekali.



Kamu telah mempelajari bioteknologi. Hal-hal penting apa sajakah yang harus diketahui dalam mempelajarinya? Catatlah dalam bentuk rangkuman. Catat pula daftar istilah yang perlu kamu ketahui dalam bab ini. Gunakanlah kamus biologi untuk membantumu. Kemudian, tukarlah hasil rangkumanmu dengan rangkuman teman. Berikan masukan dan saran pada rangkuman masing-masing.

## M a r i B e r k o m p e t e n s i

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat di setiap soal-soal berikut.

- Di bawah ini merupakan ilmu-ilmu yang digunakan dalam bioteknologi, *kecuali* ....
  - mikrobiologi
  - biologi sel
  - biokimia
  - taksonomi
  - genetika
  - tumbuhan memperoleh keturunan dengan cepat
  - tumbuhan untuk mengganti sel yang rusak
  - sel meristem untuk membentuk individu baru
- Julukan Bapak Bioteknologi diberikan kepada ....
  - Louis Pasteur
  - Charles Darwin
  - Carollus Linnaeus
  - Lamarck
  - Erasmus Darwin
  - Teknik perbanyakan tanaman yang menghasilkan keturunan yang seragam dan dalam jumlah besar adalah ....
    - stek
    - menempel
    - DNA rekombinan
    - menyambung
    - kultur jaringan
  - Mikroorganisme yang digunakan untuk memisahkan logam dari bijihnya adalah ....
    - Aspergillus oryzae*
    - Bacillus subhlis*
    - Rhizopus oryzae*
    - Lactobacillus bulgaricus*
    - Thiobacillus ferrooxidans*
  - Penerapan Bioteknologi untuk mendapatkan varietas-varietas unggul akan menjurus pada ....
    - menurunkan kualitas lingkungan
    - menurunkan kualitas produk pertanian
    - meningkatkan keanekaragaman ekologi
    - meningkatkan keanekaragaman genetik
    - meningkatkan jenis hama tanaman
  - Totipotensi adalah kemampuan ....
    - sel epidermis untuk menutup luka
    - sel untuk membentuk individu baru seperti induknya
    - Kultur jaringan mempunyai tujuan ....
      - memperoleh bibit unggul dengan cepat
      - membiasakan jenis jaringan tertentu
      - menghambat timbulnya jaringan poliploidi
      - menanam tumbuhan dalam kultur air
      - mengembangkan jaringan meristem
    - Berikut ini yang merupakan contoh produk Bioteknologi modern, *kecuali* ....
      - antibodi monoklonal untuk vaksin hepatitis
      - interferon, obat karena infeksi virus
      - hormon insulin dalam skala besar
      - penisilin dan streptomisin
      - hormon tumbuh untuk meningkatkan produksi daging
    - Mikroorganisme yang efektif untuk pembuatan sel tunggal adalah ....
      - Spirulina* dan *Fusarium*
      - Bakteri dan jamur
      - Fusarium* dan *Chlorella*

- d. *Penicillium* dan *Saccharomyces*  
e. *Chlorella* dan *Penicillium*
10. Dalam pembuatan yoghurt, susu kental, ditanami mikroba sejenis *Streptococcus*, *Thermophilus*. Tujuannya adalah ....  
a. menurunkan lemak dan asam  
b. menurunkan suhu dan asam  
c. meningkatkan cita rasa  
d. meningkatkan keasaman  
e. menurunkan kadar asam
11. Bakteri *Eschericia coli* bisa digunakan sebagai sel target dalam rekombinasi genetika karena hal berikut, *kecuali* ....  
a. *E. coli* mudah dipelihara  
b. *E. coli* mudah diperoleh  
c. *E. coli* tidak mengandung gen yang membahayakan  
d. dapat membelah diri setiap 20 menit  
e. dapat membela diri setiap 5 menit
12. Tahap-tahap teknologi plasmid untuk memproduksi insulin adalah ....  
a. pemotongan plasmid → gen insulin → bakteri  
b. gen insulin dipotong → cangkok ke bakteri → plasmid  
c. pemotongan gen insulin → plasmid → bakteri
- d. bakteri dipotong → gen insulin → plasmid  
e. gen insulin → bakteri → plasmid
13. Pada manusia, pertama kali ditetapkan teknologi rekayasa genetika adalah pada penderita penyakit ....  
a. asma  
b. ginjal  
c. jantung  
d. diabetes  
e. stroke
14. Yang bukan termasuk teknologi rekayasa genetika adalah ....  
a. teknologi plasmid  
b. teknologi hibridoma  
c. kultur jaringan  
d. transplantansi inti  
e. fusi sel
15. Hibridoma sering digunakan untuk memperoleh antibodi. Sel hibridoma merupakan peleburan dari ....  
a. virus dan bakteri  
b. kanker dan limfosit  
c. bakteri dan sel limfosit  
d. bakteri dan kanker  
e. virus dan sel limfosit

**B. Jawablah soal-soal berikut dengan singkat dan jelas.**

1. Apakah yang dimaksud dengan Bioteknologi?
2. a. Apa yang dimaksud dengan kultur jaringan?  
b. Tuliskan beberapa keuntungan teknologi kultur jaringan.
3. Tuliskan beberapa aplikasi Bioteknologi dalam hal pangan.
4. Jelaskan proses rekayasa genetika dengan teknologi plasmid beserta contohnya.
5. Jelaskan apa yang dimaksud dengan:
  - a. DNA rekombinan
  - b. enzim *restriksi endonuklease*



## Daftar Pustaka

- Adisoemarto, S. 1992. *Mengenal Nusantara Jenis-Jenis Fauna Penjati Diri Propinsi*. Bogor: Komisi pengawasan nutfah nasional.
- Depdiknas. 2003. *Kamus Biologi*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Depdiknas. 2006. *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Edisi ketiga. Jakarta: Balai Pustaka.
- Depdiknas. 2006. *Standar Isi*. Jakarta: BSNP.
- Eugene P. Odum. 1996. *Dasar-dasar Ekologi*. Edisi ketiga. Yogyakarta: Gadjah Mada University.
- Fenner Frank J, dkk. 1995. *Virologi Veteriner*. Edisi kelima. California: Academic Press. Inc.
- <http://id.wikipedia.org/wiki/kompos.htm>
- <http://id.wikipedia.org/wiki/pencemaran.htm>
- Idjah Soemarto, dkk. 1981. *Biologi Umum II*. Jakarta: PT Gramedia.
- Kimbal, John W. 1994. *Biologi*. Jilid 1, 2, dan 3. Edisi kelima. Jakarta: Erlangga.
- Kindesley, Dorling. 2002. *Jendela IPTEK Kehidupan*. Jakarta: Balai Pustaka.
- . 2002. *Jendela IPTEK Ekologi*. Jakarta: Balai Pustaka.
- [library.thinkguest.org/26153/marine](http://library.thinkguest.org/26153/marine).
- Microsoft Encarta Library 2005.
- Microsoft Encarta Library 2006.
- [panduwibowoputro.blog-city.com](http://panduwibowoputro.blog-city.com).
- Pearce, Evelyne. 1997. *Anatomi dan Fisiologi untuk Paramedis*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Soemarwoto, Otto. 1983. *Ekologi Lingkungan Hidup dan Pembangunan*. Jakarta: Penerbit Djambatan.
- Solomon, *et al.* 1993. *Biology*. Third Edition. Forth Worth: Sounders-College Publishing.
- Stern, Kingsley R. *Introductory Plant Biology*, Fourth Edition.
- Syaifuddin, H. 2000. *Fungsi Sistem Tubuh Manusia*. Jakarta: Widya Medika.
- Syaifuddin, H. 2000. *Struktur dan Komponen Tubuh Manusia*. Jakarta: Widya Medika.
- Tim Kashiko. 2002. *Kamus Lengkap Biologi*. Surabaya: Kashiko Press.
- [www.e-edukasi.net.htm](http://www.e-edukasi.net.htm). 2005. *Dunia Sains Ekologi*. Jakarta: Elekmedia Komputindo.
- [www.jatam.org/indonesia/case/migas/pencemaran\\_minyak/pseribu/index.php.htm](http://www.jatam.org/indonesia/case/migas/pencemaran_minyak/pseribu/index.php.htm).
- [www.menlh.go.id/airnet/Artikel01.htm](http://www.menlh.go.id/airnet/Artikel01.htm).
- [www.unsrat.ac.id.htm](http://www.unsrat.ac.id.htm).

## Indeks

### A

Alel, 42, 56, 76, 77, 80, 81, 83, 90, 138

Antipoda, 71

Apoenzim, 21, 38, 39

Auksin, 7, 8, 9, 12, 13, 17, 18, 165

### B

Betaoksidasi, 36

Bidang equator, 63

Biokatalisator, 21, 23, 38, 39, 40

### D

Diafototropisme, 13

Dihybrid, 75, 76, 78, 79

Dikotil, 2, 3, 4, 18

DNA, 37, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 60, 61, 62, 95, 96, 113, 114, 133, 135, 153, 154, 156, 265, 166, 167, 169, 170

### E

Eksplan, 165

Endosimbion, 115

Enzim, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 29, 39, 40, 50, 90, 154, 165, 166, 167

Epigeal, 3, 16

Epistasis, 75, 82, 102

Etiolasi, 12, 16

### F

Fermentasi, 30, 31, 38

Fotoperiodism, 14

### G

Gen, 42, 43, 50, 76, 77, 80, 81, 83, 88, 89, 90, 101, 138, 239, 141, 142, 146, 149,

153, 154, 156, 165, 166, 167, 168, 170

Genom, 48, 56, 100

Giberelin, 7, 8, 17, 18

Glikolisis, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 38

### H

Haloenzim, 22, 39

Hibridoma, 167

Hipogeal, 3, 16

Hipostasis, 75, 82

Homologi, 131, 132, 150

### I

Inhibitor, 25, 38

Irreversible, 2, 24

In vitro, 52

### K

Kiasma, 64, 83, 102

Kimera, 167

Klorosis, 10, 16

Kodon, 47, 52, 53, 95, 96

Kofaktor, 21, 22, 39, 40

Kolkisin, 101

Kriptomeri, 75, 80, 103

Kromosom, 43, 48, 49, 56, 58, 62, 66, 83, 84, 85, 86, 87, 91, 92, 96, 99, 100, 101, 103, 104

### L

Lingkar tahun, 6, 16

Leaching, 163

### M

Megasporogenesis, 71, 74

Meiosis, 59, 60, 61, 62, 64, 66, 67, 68, 69, 73, 74, 83, 85, 86, 97, 104, 147

Mesofil, 152

Mikrosporogenesis, 70, 74

Mitosis, 59, 60, 61, 62, 63, 66, 67, 68, 69, 73, 74, 86

Monohybrid, 75, 76, 77, 78, 102

Monokotil, 2, 3, 4

Mutagen, 95, 102

Mutagenesis, 95

Mutan, 95, 102, 136

### N

Nebula, 106

Nukleosida, 44, 45

### O

Oogenesis, 68, 69, 73

Oogonium, 69

Oosit primer, 69, 70

Oosit sekunder, 70

### P

Palisade, 33

Partenokarpi, 7, 16

Polimeri, 75, 81, 103

Psikrofil, 152

### R

Reversible, 37

RNA, 37, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 50, 51, 52, 57, 58, 113, 133

### S

Sicklemlia, 53

Spermatogenesis, 68, 73

Spons, 33

### T

Termofil, 152

Totipotensi, 153, 165, 169

Trankripsi, 46, 50, 51, 56

Translasi, 50, 51, 56

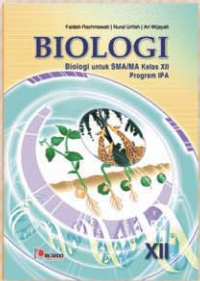
Transversi, 95, 96











Buku **BIOLOGI** merupakan buku teks pelajaran Biologi untuk SMA/MA Program IPA yang dapat digunakan oleh siswa dalam mempelajari Biologi. Buku ini diharapkan dapat membentuk sikap positif siswa terhadap Biologi.

Konsep-konsep Biologi disajikan secara **lugas, menarik, dan kontekstual** melalui penjelasan materi. Buku ini dilengkapi dengan “**Mari Berdiskusi**” agar siswa dapat bersosialisasi dengan guru dan teman tentang Biologi, siswa juga dituntut untuk mengingat kembali materi yang telah dipelajari melalui tulisan pada “**Mari Merangkum**”, untuk mengetahui tingkat pemahaman siswa terhadap materi yang dipelajari terangkum dalam “**Mari Berkompetensi**”. Selain itu, buku ini dilengkapi dengan “**Daftar Istilah**” untuk mempermudah siswa memahami kata-kata yang sulit.

Ilustrasi-ilustrasi yang menarik makin menambah kelengkapan buku ini. Ilustrasi tersebut disesuaikan dengan materi yang sedang dipelajari. Ilustrasi dalam bentuk foto diharapkan dapat membuka pikiran siswa bahwa Biologi dekat dengan kehidupan mereka.

Cobalah untuk **membuka**, kemudian **mempelajari**, lalu **memahami** buku ini, selanjutnya mengaplikasikan buku ini dalam kehidupan sehari-hari.

ISBN 978-979-068-831-5 (No. Jilid Lengkap)  
ISBN 978-979-068-841-4

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007 Tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran Yang Memenuhi Syarat Kelayakan Untuk Digunakan Dalam Proses Pembelajaran.

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp15.035,-