

- Siti Nur Rochmah
- Sri Widayati
- Mazrikhatul Miah



BIOLOGI

SMA/MA Kelas XI I

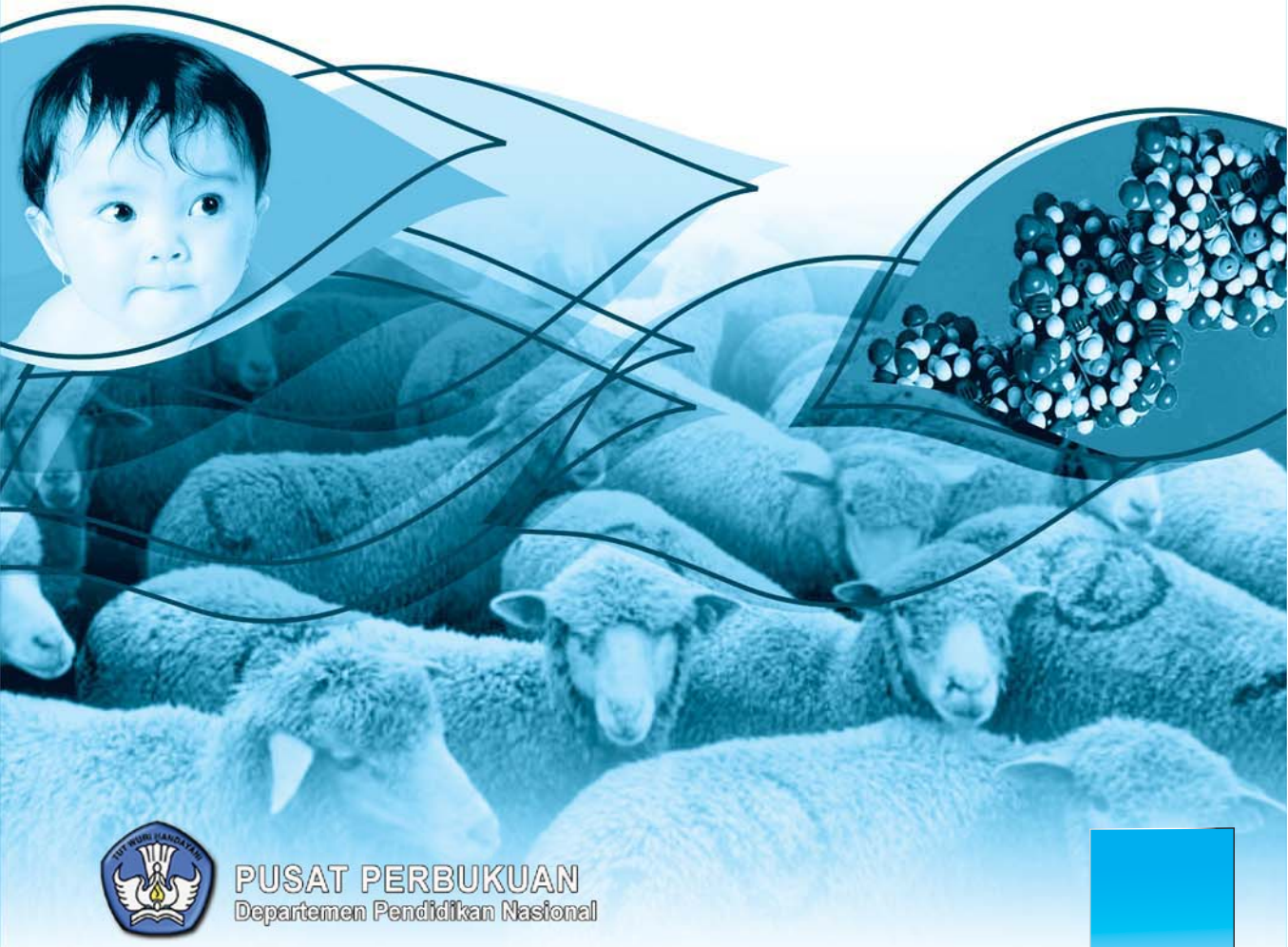


PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Siti Nur Rochmah
Sri Widayati
Mazrikhatul Miah

B I O L O G I

SMA/MA Kelas XII



Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

Biologi SMA/MA Kelas XII

Penulis: Siti Nur Rochmah, Sri Widayati, Mazrikhatul Miah

Editor: Eri Arinastiti, Yunita Retnosari, Arif Kurniawan

Pembaca ahli: Maizer Said Nahdi

Desainer sampul: Aji Galarso Andoko

Desainer perwajahan: Sri Basuki

Ilustrator: Indradi Budi Santosa, Dwi Purwanto

Penata letak: Erwin Ariyanto, Sabjan Badio

Pengarah artistik: Sudaryanto

574.07

SIT

SITI Nur Rochmah

b

Biologi : SMA dan MA Kelas XII /penulis, Siti Nur Rochmah, Sri Widayati, Mazrikhatul Miah ; editor, Eri Arinastiti, Yunita Retnosari, Arif Kurniawan ; ilustrator, Indradi Budi Santosa, Dwi Purwanto
.-- Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009.

vii, 282 hlm. : ilus. ; 30 cm

Bibliografi : hlm. 281-282

Indeks

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

ISBN: 978-979-068-845-2

1. Biologi-Studi dan Pengajaran I. Judul II. Sri Widayati
III. Mazrikhatul Miah IV. Eri Arinastiti V. Yunita Retnosari
VI. Arif Kurniawan VII. Indradi Budi Santosa
VIII. Dwi Purwanto

Hak cipta buku ini telah dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional
dari Penerbit PT. Pustaka Insan Madani

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun 2009

Diperbanyak oleh ...



Kata Sambutan

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2008, telah membeli hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis/penerbit untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui situs internet (*website*) Jaringan Pendidikan Nasional.

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 27 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

Biologi adalah ilmu hafal-menghafal. Barangkali itulah yang tertanam dalam benak kalian selama ini. Maka, yang dikejar oleh kalian bukanlah pemahaman, namun bagaimana menghafal materi sebanyak mungkin. Nah, untuk menghentikan kondisi seperti itu, kami menghadirkan Seri Biologi SMA/MA ini. Melalui pendekatan kontekstual, diharapkan pembelajaran biologi terasa mengasyikkan, dan merangsang rasa ingin tahu.

Dalam buku ini, kami menyajikan beragam elemen dan rubrikasi antara lain: *Apersepsi*, berisi judul bab, gambar, serta keterangan gambar yang terkait dengan materi yang akan dipelajari. *Peta Konsep*, berupa konsep-konsep inti yang akan diberikan pada setiap bab. *Tujuan Pembelajaran*, yakni target yang ingin dicapai pada setiap bab. *Kata Kunci*, berisi kata-kata yang merupakan inti materi dalam bab terkait. *Telisisik*, yaitu rubrik berisi kegiatan siswa yang terkait dengan materi. *Percobaan*, yakni kegiatan siswa yang dilakukan di dalam kelas atau laboratorium, untuk membuktikan suatu teori yang terkait dengan materi. *Diskusi*, yaitu rubrik yang menyajikan suatu tema menarik untuk didiskusikan oleh siswa. *Galeri*, berisi aneka informasi tambahan. *Uji Kompetensi*, merupakan soal-soal akhir subbab. *Kilas*, berisi cuplikan informasi penting yang telah dipelajari oleh siswa pada materi ataupun kelas sebelumnya. *Senaraikata*, berisi penjelasan istilah-istilah penting dalam materi. *Ikhtisar*, yaitu rubrik khusus berisi ringkasan materi dalam satu bab. *Ulangan Harian*, berisi soal-soal tes di akhir bab, untuk menguji pemahaman siswa atas keseluruhan materi bab yang bersangkutan.

Selain rubrik-rubrik tersebut, masih ada ulangan blok yang meliputi *Latihan Ulangan Tengah Semester*, *Latihan Ulangan Akhir Semester*, dan *Latihan Ulangan Kenaikan Kelas*. Ketiganya berfungsi menguji ketercapaian kompetensi.

Demikianlah, buku ini telah kami upayakan agar dapat tampil maksimal. Untuk itu, kami mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Sunan Kalijaga Yogyakarta, penerbit Pustaka Insan Madani, dan semua pihak atas berbagai bentuk dukungannya.

Tim Penulis

Daftar Isi

Kata Sambutan | iii

Kata Pengantar | iv

Daftar Isi | v

Bab I Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan

- A. Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan | 2
 - 1. Perkecambahannya | 2
 - 2. Pertumbuhan dan Perkembangan | 6
- B. Faktor-faktor yang Memengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan | 11
 - 1. Faktor Internal | 11
 - 2. Faktor Eksternal | 14
- C. Merancang Percobaan Pengaruh Faktor Luar Terhadap Pertumbuhan dan Perkembangan | 20
 - 1. Menemukan Masalah | 20
 - 2. Merumuskan Masalah | 20
 - 3. Merumuskan Hipotesis | 21
 - 4. Merancang Percobaan | 21

Bab II Metabolisme

- A. Enzim pada Proses Metabolisme | 32
 - 1. Komponen-komponen Enzim | 32
 - 2. Fungsi dan Cara Kerja Enzim | 33
 - 3. Sifat-sifat Enzim | 35
 - 4. Penghambat Kerja Enzim | 36
 - 5. Faktor yang Memengaruhi Kerja Enzim | 37
 - 6. Penamaan dan Pengelompokan Enzim | 38
 - 7. Pembentukan Enzim | 39
- B. Katabolisme Karbohidrat, Lemak, dan Enzim | 41
 - 1. Katabolisme Karbohidrat | 41
 - 2. Hubungan antara Katabolisme Lemak, Protein, dan Katabolisme Karbohidrat | 52
- C. Anabolisme | 55
 - 1. Fotosintesis | 55
 - 2. Kemosintesis | 63

Latihan Ulangan Tengah Semester I | 69

Bab III Genetika

- A. Materi Genetik | 72

1. Kromosom | 72
 2. DNA | 77
 3. RNA | 80
 4. Hubungan Gen dengan Kromosom, DNA, dan RNA | 81
- B. Sintesis Protein | 83
1. Tahapan Sintesis Protein | 84
 2. Kode Genetik dalam Sintesis Protein | 90

Bab IV Pembelahan Sel

- A. Reproduksi Sel | 98
1. Pembelahan Sel secara Langsung | 98
 2. Pembelahan Sel secara Tidak Langsung (Mitosis dan Meiosis) | 100
- B. Tahapan Pembelahan Mitosis | 101
1. Interfase (Fase Istirahat) | 102
 2. Pembelahan Mitosis | 103
- C. Pembelahan Meiosis | 109
1. Tahap Meiosis I | 109
 2. Tahap Meiosis II | 112
- D. Gametogenesis dan Pewarisan Sifat | 114
1. Gametogenesis pada Hewan | 114
 2. Gametogenesis pada Tumbuhan Tingkat Tinggi | 116
 3. Pewarisan Sifat dan Variasi Genetis | 117

Bab V Prinsip Hereditas

- A. Hukum Pewarisan Sifat Mendel | 124
1. Hukum Mendel I (Hukum Segregasi) | 125
 2. Hukum Mendel II (Hukum Asortasi) | 130
 3. Penyimpangan Semu Hukum Mendel | 135
- B. Pola-pola Hereditas | 142
1. Tautan Autosomal | 143
 2. Pindah Silang | 144
 3. Tautan Seks | 147
 4. Determinasi Seks | 148
 5. Gen Letal | 150
 6. Non-disjunction | 152
- C. Hereditas pada Manusia | 154
1. Kelainan atau Cacat Menurun | 155
 2. Golongan Darah | 158
 3. Gen-gen yang Ekspresinya Dipengaruhi oleh Jenis Kelamin | 161
 4. Upaya Menghindari Kelainan Menurun | 163

Bab VI Mutasi

- A. Macam-macam Mutasi dan Penyebabnya | 172
1. Mutasi Gen | 172
 2. Mutasi Kromosom | 174
 3. Mutasi Somatis dan Mutasi Germinal | 179
 4. Mutasi Alami dan Mutasi Buatan | 181

- 5. Mutasi Missenses, Non-sense, Netral, dan Diam | 183
- B. Dampak Mutasi pada Salingtemas (Sains, Lingkungan, Teknologi dan Masyarakat) | 184
 - 1. Dampak Positif Mutasi Buatan dan Mutasi Alam | 184
 - 2. Dampak Negatif Mutasi | 185

Latihan Ulangan Akhir Semester I | 193

Bab VII Evolusi

- A. Konsep Dasar Evolusi | 200
 - 1. Teori-teori Evolusi | 200
 - 2. Pro dan Kontra Evolusi | 203
- B. Bukti-bukti Adanya Evolusi | 206
 - 1. Bukti Paleontologi | 206
 - 2. Anatomi Perbandingan | 208
 - 3. Struktur Vestigial | 209
 - 4. Embriologi | 209
 - 5. Biokimia Perbandingan | 209
 - 6. Biogeografi | 210
 - 7. Domestikasi | 211
- C. Mekanisme Evolusi | 212
 - 1. Perubahan (Variasi) Genetik | 212
 - 2. Seleksi Alam | 215

Bab VIII Kecenderungan Baru Teori Evolusi

- A. Asal Usul Bumi dan Kehidupan | 224
 - 1. Teori Asal Usul Bumi | 224
 - 2. Teori Asal Usul Kehidupan | 225
- B. Kecenderungan Baru Teori Evolusi | 230
 - 1. Pandangan Baru Teori Evolusi | 230
 - 2. Pandangan Harun Yahya Tentang Teori Evolusi | 231

Latihan Ulangan Tengah Semester II | 237

Bab IX Bioteknologi

- A. Pengertian dan Jenis-jenis Bioteknologi | 240
 - 1. Arti dan Prinsip Dasar Bioteknologi | 240
 - 2. Jenis-jenis Bioteknologi | 240
- B. Implikasi (Dampak) Bioteknologi pada Sains, Lingkungan, Teknologi, dan Masyarakat | 249
 - 1. Dampak Positif | 249
 - 2. Dampak Negatif | 253
 - 3. Solusi untuk Mengatasi Kontroversi Rekayasa Genetika | 255

Latihan Ujian Akhir Sekolah | 261

Kunci Jawaban | 267

Indeks | 278

B a b I

Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan



50.000 PhotoArt

Setiap makhluk hidup termasuk tumbuhan, akan mengalami perubahan bentuk, ukuran, maupun volumenya. Dalam jangka waktu tertentu, biji yang kalian tanam di kebun akan memunculkan akar, batang, dan daun. Akhirnya, bentuk tersebut berubah menjadi tumbuhan dewasa yang lengkap dengan bagian akar, batang, dan daun. Bahkan, ada yang sampai menghasilkan bunga dan buah. Dengan demikian, tentunya ada suatu proses yang menyebabkan perubahan tersebut. Oleh karena itu, kalian perlu mengetahui, proses apakah yang menyebabkan perubahan dari bentuk biji menjadi tumbuhan dewasa? Di materi inilah kalian menemukan penjelasan.

Kata Kunci

- Pertumbuhan
- Perkembangan
- Perkecambah
- Pertumbuhan primer
- Pertumbuhan sekunder

Pada bab ini, kalian akan mempelajari pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan serta mempelajari faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan.

Setelah mempelajarinya, kalian diharapkan dapat membedakan bagaimana tumbuhan dikatakan tumbuh dan berkembang, mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan, dan membedakan ciri-ciri serta akibat pertumbuhan primer dan pertumbuhan sekunder. Selanjutnya, kalian diharapkan mampu merancang, melaksanakan percobaan dan mengamati hasil percobaan.

A. Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan

Tumbuhan kelapa berkembang biak dengan biji. Jika biji berada pada persemaian yang sesuai, tumbuhlah bibit tumbuhan kelapa. Setelah bibit tersebut ditanam, tumbuhan akan bertambah tinggi, besar, berbunga dan berbuah. Perubahan itu disebabkan oleh adanya fase-fase pertumbuhan dan perkembangan. Tumbuhan kelapa yang telah tumbuh tersebut tidak akan dapat kembali ke bentuk semula.

Pertumbuhan adalah proses pertambahan volume yang *irreversible* (tidak dapat balik) karena adanya pembesaran sel dan pertambahan jumlah sel atau pembelahan sel (pembelahan mitosis) atau keduanya. Pertumbuhan pada tumbuhan dapat dinyatakan secara kuantitatif karena pertumbuhan dapat diketahui dengan mengukur besar dan tinggi batang, menimbang massa sel baik berupa berat kering maupun berat basah, menghitung jumlah daun, jumlah bunga, maupun jumlah buahnya.

Selama pertumbuhan, tumbuhan juga mengalami proses diferensiasi, pematangan organ, serta peningkatan menuju kedewasaan. Pada saat itulah, tumbuhan mengalami proses yang disebut **perkembangan**. Serangkaian proses perubahan bentuk tumbuhan ini disebut juga **morfogenesis**. Dari hasil perkembangan inilah tumbuhan menjadi semakin dewasa dan lengkap organnya. Proses pembentukan organ tersebut disebut sebagai **organogenesis**, yang merupakan bagian dari proses perkembangan atau morfogenesis.

Perkembangan tidak dapat dinyatakan secara kuantitatif, tetapi dilihat dengan adanya peningkatan menuju pada kesempurnaan. Pertumbuhan dan perkembangan tersebut berjalan secara *simultan* (bersama). Salah satu fase atau tahapan dari pertumbuhan dan perkembangan adalah proses perkecambahan.

1. Perkecambahan

Biji dibungkus oleh kulit biji. Setelah biji dibelah, kalian akan menemukan bagian-bagian berupa cadangan makanan dan **embrio** atau calon individu baru yang disebut juga lembaga tumbuhan. Embrio terdiri dari akar lembaga (calon akar = **radikula**), daun lembaga

Kilas

Pada pelajaran biologi SMP, telah kalian pelajari tentang ciri-ciri makhluk hidup. Selain mengalami pertumbuhan dan perkembangan, ciri-ciri lain dari makhluk hidup adalah mampu bergerak, bernapas, peka terhadap rangsangan atau faktor luar, bermetabolisme atau membutuhkan makanan dan minuman, serta mampu berkembangbiak.

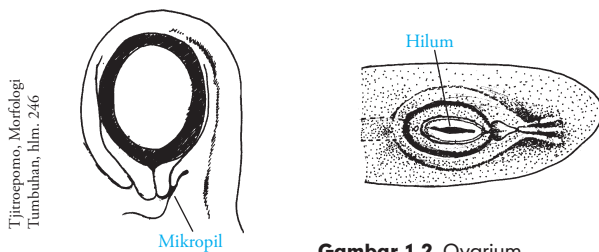
(**kotiledon**) dan batang lembaga (**kaulikus**). Untuk memperoleh penjelasan lebih lengkap, perhatikan Gambar 1.1.

Kotiledon pada biji tumbuhan monokotil seperti padi (*Oryza sativa*), jagung (*Zea mays*) maupun rumput-rumputan (*Gramineae* atau *Poaceae*) disebut sebagai **skutelum**. Skutelum mempunyai permukaan yang luas dan tipis. Pada bagian akar embrionya, terbungkus oleh lapisan yang disebut **koleorhiza**, sedangkan pada ujung tunas embrioniknya dibungkus oleh **koleoptil**.

Embrio pada biji tumbuhan dikotil seperti kacang atau buncis, melekat pada kotiledon disebut kuncup embrionik. Kaulikus terdiri dari **hipokotil** (“*hypo*” = di bawah) yaitu bagian bawah (pangkal) yang melekat pada kotiledon dan **epikotil** (“*epi*” = di atas), yang terdapat di sebelah atas hipokotil. Epikotil akan tumbuh menjadi batang dan daun serta hipokotil akan tumbuh menjadi akar.

Pada ujung epikotil terdapat **plumula** (pucuk lembaga) yang terdiri dari ujung tunas dengan sepasang pucuk daun. **Radikula** berada pada bagian ujung pangkal hipokotil.

Pada biji terdapat suatu bagian yang berfungsi untuk memasukkan air dan O₂. Bagian itu disebut **hilum** (Gambar 1.2). Selain melewati hilum, air dan gas-gas terlarut dapat masuk lewat mikropil. Mikropil juga merupakan pintu masuknya inti sperma dan inti vegetatif pada saat pembuahan berlangsung.



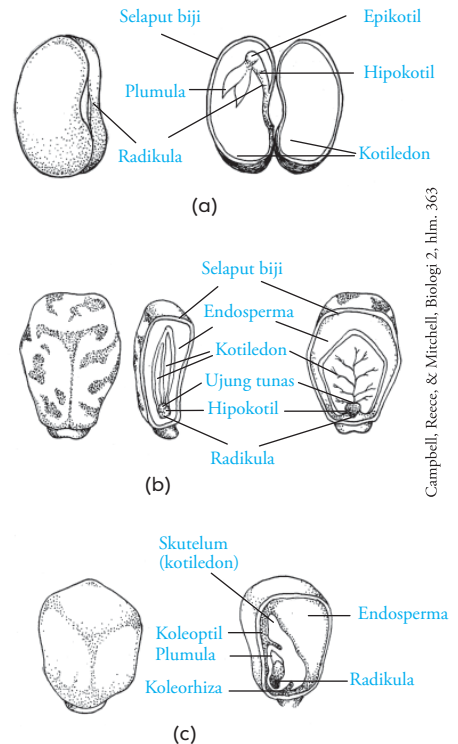
Gambar 1.2 Ovarium

Setelah biji ditanam dan daerah persemaian telah memenuhi syarat, biji akan dapat berkecambah. Pada saat biji berkembang (sebelum berkecambah), kotiledon maupun skutelum menyerap makanan dari **endosperma**. Pada saat perkecambahan tiba, kotiledon memindahkan makanannya ke embrio. Akibatnya kotiledon semakin mengecil.

Perkecambahan adalah proses perubahan fisiologi biji dari bentuk dorman (“istirahat” atau tidak aktif) ke bentuk semai setelah melalui perkembangan sedemikian rupa, ditandai dengan pembentukan radikula, kaulikus dan plumula.

a. Masa Dormansi Biji

Persyaratan pertama agar biji dapat berkecambah adalah berakhirnya masa dormansi biji. **Dormansi biji** adalah kondisi biji yang masih hidup tetapi tidak aktif, berada dalam kondisi kering (kelembabannya kurang) dan tidak dapat (gagal) berkecambah selama periode waktu



Gambar 1.1 Struktur biji setelah dibelah (a) biji buncis, (b) biji jarak (c) biji jagung

Galeri

Bagian apakah yang kita makan dari buah kelapa?

Sebenarnya, yang kita makan dari buah kelapa adalah bagian endospermanya. Bagian ini berda-ging, berwarna putih dan merupakan endosperma padat yang biasanya dapat dibuat es kelapa muda. Air kelapanya merupakan endosperma cair. Pada monokotil, umumnya endospermanya cair dulu kemudian menjadi padat.

www.kimianet.lipi.go.id
(dengan pengembangan)

tertentu karena faktor internal biji. **Biji kuisen** (*quiscence*) adalah biji yang tidak dapat berkecambah apabila faktor luar tidak memenuhi persyaratan. Keadaan ini akan berakhir hingga adanya kondisi yang menguntungkan untuk perkembangan.

b. Proses Perkecambahan

Pertumbuhan dan perkembangan telah dimulai sejak biji terkena air. Setelah terjadi proses imbibisi (masuknya air ke dalam biji), embrio di dalam biji melakukan perbanyakan sel. Pada tahapan tertentu, sel mengalami proses diferensiasi. Pada tahapan ini, sel-sel mengalami proses penambahan jenis dan fungsi sel menjadi jelas. Tahap berikutnya adalah proses pembentukan organ-organ yang disebut **organogenesis**. Dengan organogenesis ini, struktur dan fungsi menjadi semakin lengkap. Proses ini disebut perkembangan atau **morfogenesis**.

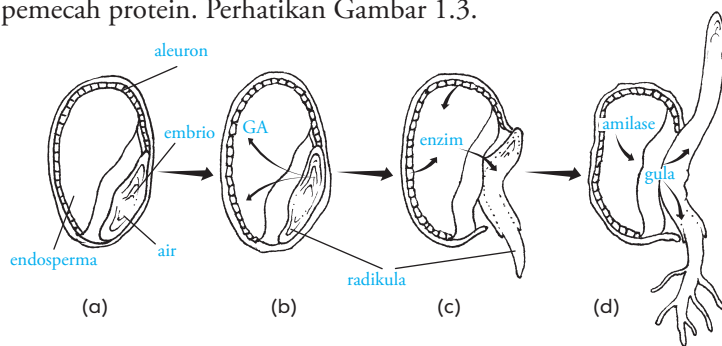
Proses perkecambahan diawali dengan berubahnya struktur embrio biji menjadi **tumbuhan kecil** di dalam biji yaitu terlihat daun kecil, calon batang, dan calon akar.

Dua faktor yang memengaruhi perkecambahan yaitu faktor *internal* (dari dalam) dan faktor *eksternal* (dari luar atau lingkungan). Faktor internal meliputi tingkat kemasakan biji, ukuran biji, absorbansi (daya serap biji terhadap air), dan ada tidaknya zat penghambat. Faktor eksternal meliputi suhu, O_2 , dan air.

Mengapa setelah biji terinduksi oleh air, embrio biji memiliki kemampuan untuk tumbuh? Setelah biji menyerap air (*imbibisi*), biji membesar sehingga kulit biji pecah. Secara umum, proses perkecambahan terjadi secara kimiawi. Dengan masuknya air ke dalam biji, enzim akan bekerja dengan aktif. Jika embrio terkena air, embrio menjadi aktif dan melepaskan hormon giberelin (GA). Hormon ini memacu aleuron untuk membuat (*mensintesis*) dan mengeluarkan enzim. Enzim yang dikeluarkan antara lain: enzim α -amilase, maltase, dan enzim pemecah protein. Perhatikan Gambar 1.3.

Gambar 1.3 Proses perkecambahan biji. Gambar biji jagung yang dibuka hingga terlihat bagian aleuron, embrio dan endosperma. Gambar tersebut menggambarkan urutan proses.

- (a) embrio menyerap air,
- (b) embrio mengeluarkan GA ke aleuron,
- (c) aleuron mengeluarkan enzim dan enzim menuju ke endosperma,
- (d) enzim bekerja menguraikan zat makanan hingga diperoleh energi untuk perkecambahan.



Amilase merubah amilum (pati) menjadi maltosa. Maltosa dihidrolisis oleh maltase menjadi glukosa. Metabolisme glukosa menghasilkan energi dan atau senyawa-senyawa untuk menyusun struktur tubuh tumbuhan. Pembentukan energi ini membutuhkan oksigen (O_2). Oleh sebab itu, proses perkecambahan membutuhkan oksigen. Protein yang ada dipecah menjadi asam amino yang berfungsi menyusun struktur

sel dan enzim-enzim baru. Enzim-enzim di dalam biji dapat bekerja dengan baik pada suhu tertentu, sedangkan suhu yang tinggi dapat merusak enzim.

Cahaya pada proses perkecambahan dapat memengaruhi hormon auksin. Hormon ini rusak atau terurai jika terkena intensitas cahaya yang tinggi. Dengan demikian, pertumbuhan kecambah akan ke arah datangnya cahaya.

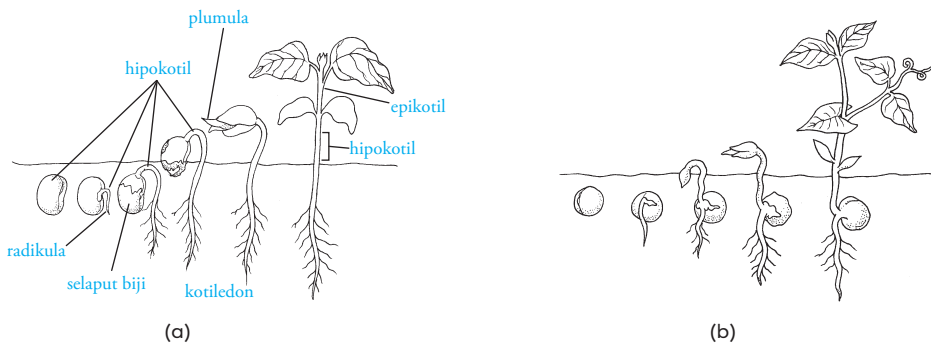
Ada dua tipe perkecambahan berdasarkan letak kotiledonnya pada saat berkecambah:

1) Perkecambahan hipogeal

Pada perkecambahan ini, bakal batang tumbuh memanjang ke permukaan tanah, kotiledon tetap berada di dalam tanah. Contoh: perkecambahan kacang kapri (*Pisum sativum*), dan jagung (*Zea mays*). Perhatikan Gambar 1.4(b).

2) Perkecambahan epigeal

Pada perkecambahan ini hipokotil tumbuh menembus permukaan tanah sehingga kotiledon terangkat ke permukaan tanah. Contoh: perkecambahan pada kacang hijau (*Phaseolus sp.*), kacang tanah (*Arachis hypogaea*) dan kapas (*Gossypium sp.*). Perhatikan Gambar 1.4 (a).



Gambar 1.4
(a) Perkecambahan epigeal pada kacang hijau,
(b) Perkecambahan hipogeal pada kacang kapri

Setelah kalian mengetahui proses perkecambahan, kalian perlu menambah pengetahuan melalui rubrik *Telisisik* di bawah ini.

Telisisik

Mengumpulkan Informasi Cara Budidaya Kecambah

Lakukanlah tugas berikut ini bersama kelompok kalian. Langkah-langkah yang kalian lakukan adalah:

1. Kunjungi pedagang kecambah di pasar. Lakukan transaksi kapan kalian dapat berkunjung ke rumahnya untuk melihat langsung proses budidaya kecambah.
2. Sebelum berkunjung, siapkan lembar kerja untuk mencatat alat-alat yang diperlukan dan cara budidayanya.
3. Buatlah laporan hasil survei kalian.

Agar laporan kalian dapat dipahami orang lain, gambarlah alat yang diperlukan dan deskripsikan dengan jelas. Susunlah dengan kalimat yang mudah dipahami. Sebelum dikumpulkan, mintalah orang lain membaca laporan kalian untuk menilainya.

2. Pertumbuhan dan Perkembangan

Setelah fase perkecambahan, tumbuhan akan tumbuh membentuk akar, batang dan daun. Setelah tanaman memiliki daun yang sempurna, akar tumbuhan segera berfungsi sebagai organ penyerap unsur-unsur hara dari media tanamnya. Pertumbuhan pada tanaman dibedakan menjadi pertumbuhan primer dan pertumbuhan sekunder.

a. Pertumbuhan Primer

Jaringan khusus yang mengalami pertumbuhan dengan cara pembelahan dan pembesaran sel, disebut **meristem**. Sel-sel pada jaringan meristem primer membelah terus-menerus, 1 sel menjadi 2 sel, 2 sel menjadi 4 sel, 4 sel menjadi 8 sel, 8 sel menjadi 16 sel dan seterusnya. Hal inilah yang disebut **pertumbuhan primer**. Selain membelah, sel juga mengalami penambahan ukuran (membesar dan memanjang). Pertumbuhan primer terjadi pada ujung akar dan ujung batang. Pada jaringan meristem ini terdapat bagian titik tumbuh akar dan titik tumbuh batang.

1) Titik Tumbuh Akar

Pada tahun 1758, **Henri Louis** dkk dilaporkan sebagai orang yang pertama kali mengamati pertumbuhan sel di daerah akar, dengan menyisipkan perak tipis pada akar. Pada tahun 1980, Erickson dan Silk melaporkan hasil percobaannya bahwa pada daerah pemanjangan jarak tinta semakin berjauhan.

Pada bagian meristem apikal (meristem ujung), akar tumbuhan dilindungi oleh tudung akar (*kaliptra*). Tudung akar juga berfungsi untuk menembus tanah karena sel-sel di bagian ini mengeluarkan cairan polisakarida. Akibat cairan inilah tanah menjadi lunak. Titik tumbuh akar adalah pada bagian jaringan meristem yang memiliki tudung akar.

Berdasarkan strukturnya, titik tumbuh akar dibedakan menjadi daerah **pembelahan sel**, daerah **pemanjangan sel** dan daerah **diferensiasi**.

Daerah pembelahan sel terdapat pada bagian ujung, di belakang tudung akar. Pada daerah ini terdapat meristem primer dan meristem apikal dengan sel-sel yang aktif membelah (meristematik). Meristem primer terdiri atas tiga sistem jaringan yaitu **protoderm** (lapisan terluar yang akan menjadi jaringan epidermis), meristem dasar (lapisan kedua yang berada di sebelah dalam protoderm dan akan menjadi jaringan dasar), dan **prokambium** (merupakan lapisan dalam yang akan menjadi stele atau silinder pusat). Meristem apikal merupakan pusat pembelahan sel.

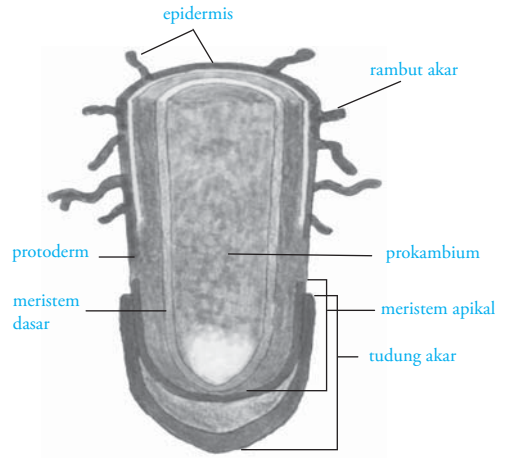
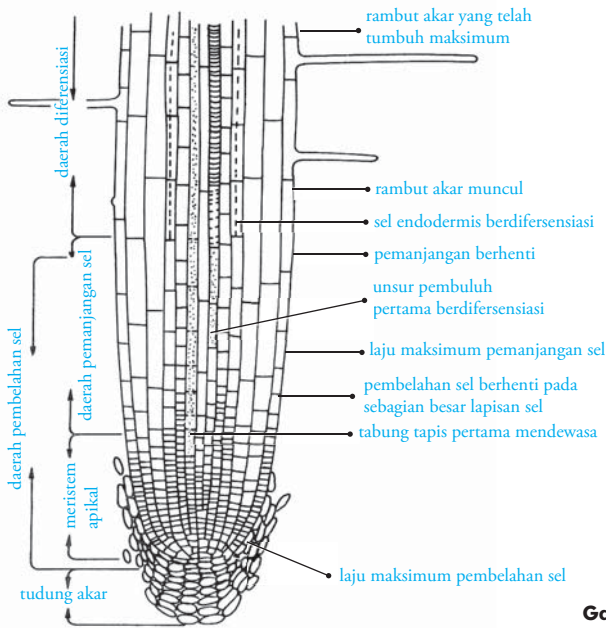
Daerah pemanjangan sel terdapat di belakang daerah pembelahan. Sel-sel pada daerah ini memiliki kemampuan untuk membesar dan memanjang. Perhatikan Gambar 1.5.

Pada daerah diferensiasi, sel-sel pada tiga sistem jaringan meristem mengalami proses diferensiasi, sehingga memiliki struktur dan fungsi khusus. Epidermis pada daerah diferensiasi sudah terdiferensiasi dan tumbuh bulu-bulu akar yang berfungsi untuk menyerap unsur-unsur hara dari dalam tanah. Oleh sebab itu, daerah diferensiasi dikatakan mengalami organogenesis secara sempurna.

Kilas

Pada pelajaran Biologi kelas X, pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan meliputi dua kelompok, yaitu **fase vegetatif** dan **fase generatif**.

Fase vegetatif meliputi fase perkecambahan biji, pertumbuhan dan perkembangan batang, daun, tunas samping, dan akar. Fase generatif meliputi penguangan, pembentukan biji, pertumbuhan biji, dan buku-buku reproduktif.



Gambar 1.5 Irisan membujur daerah pertumbuhan akar

Untuk membuktikan bahwa pada akar kecambah terdapat daerah-daerah yang memiliki kecepatan pertumbuhan berbeda, kalian dapat melakukan percobaan sebagai berikut:

Percobaan

Mengamati Letak Daerah Tumbuh pada Akar

A. Dasar teori

Titik tumbuh akar adalah pada bagian jaringan meristem yang memiliki tudung akar. Berdasarkan struktur sel penyusun jaringan akar, titik tumbuh akar dibedakan menjadi daerah pembelahan sel, daerah pemanjangan sel dan daerah diferensiasi sel.

B. Tujuan

Mengamati dan mengetahui letak daerah tumbuh pada akar

C. Alat dan Bahan

1. Cawan petri
2. Lempeng kaca
3. Gelas ukur atau tabung gelas
4. Jepit rambut atau karet gelang
5. Penggaris
6. Tinta tahan air (tinta cina)
7. Air
8. Kertas tisu atau kapas
9. Biji kacang tanah atau kacang merah yang telah direndam 12 jam



D. Langkah Percobaan

1. Siapkan sebuah cawan petri. Gunakan kapas basah untuk meletakkan 10 biji kacang yang telah direndam selama 12 jam, kemudian tutuplah rangkaian tersebut dengan selapis kapas basah.
2. Sisakan sebuah kecambah untuk kalian amati pertumbuhan bulu-bulu akar, kemudian gambarlah.
3. Simpanlah di tempat yang aman, cukup cahaya dan aerasi baik.
4. Pada hari ke 3, amatilah apakah kecambah telah tumbuh? Lakukan pengamatan daerah tumbuh apabila kecambah mencapai panjang ± 3 cm. Bekerjalah bersama-sama dengan demonstrasi yang dilakukan gurumu.
5. Pilih 3 buah kecambah yang akarnya lurus.
6. Berilah tanda atau garis menggunakan tinta mulai dari ujung kecambah, sebanyak 10 garis masing-masing dengan interval 1 mm.
7. Kecambah diletakkan dengan kedudukan tegak pada lempeng kaca yang telah dibalut kertas tisu atau kapas menggunakan karet gelang.
8. Sebagai kontrol, ambil 3 buah kecambah lagi. Kemudian berilah tanda garis pada 10 mm dari ujungnya.
9. Letakkan pada lempeng kaca seperti pada langkah 8 dan masukkan lempeng kaca pada tabung gelas yang berisi sedikit air, kemudian simpan di tempat gelap.
10. Sisakan sebuah kecambah untuk kalian amati pertumbuhan bulu-bulu akar. Gambarlah, tunjukkan letak daerah diferensiasi.
11. Setelah 24 jam, amatilah tanda tinta pada setiap kecambah dan ukurlah masing-masing interval garisnya dan dirata-rata. Kemudian masukkan data pada tabel pengamatan.

Tabel pengamatan daerah tumbuh

Gambar Awal Kecambah		Gambar Kecambah 3 Hari Kemudian	
Kontrol	Perlakuan	Kontrol	Perlakuan
1.			
2.			
3.			

E. Pembahasan

1. Untuk kecambah no. 1, daerah manakah yang mengalami pertumbuhan paling cepat? Bagaimana pula untuk kecambah no. 2 dan 3? Tunjukkan daerah-daerah itu pada gambar. (daerah pemanjangan dan daerah diferensiasi)
2. Pada umur berapa hari daerah diferensiasi terbentuk?
Catatan: daerah diferensiasi biasanya ditandai dengan munculnya rambut akar.
3. Buatlah kesimpulan daerah tumbuh pada akar kecambah.
4. Presentasikan hasil kegiatan ini di depan kelas.

Setelah kalian menyelesaikan percobaan dan mempresentasikan hasil pengamatan daerah tumbuh, kalian memahami bahwa kecepatan pertumbuhan pada akar berbeda-beda. Pertumbuhan tercepat terjadi pada daerah meristem.

2) Titik Tumbuh Batang

Titik tumbuh batang terdapat pada ujung batang. Ujung batang merupakan jaringan meristem yang sel-selnya aktif membelah. Pada ujung batang terdapat meristem apikal sebagai daerah pertumbuhan. Jaringan meristem membelah membentuk bangunan seperti kubah. Jaringan meristem pada batang dibagi menjadi 2 yaitu **meristem embrional** dan **meristem kambium**. Meristem embrional ditemukan pada saat perkecambahan, sedangkan meristem kambium ditemukan setelah tanaman tumbuh dan berkembang secara lengkap.

Primordia daun tumbuh di kanan kiri meristem apikal. Tunas samping yang akan membentuk cabang disebut **tunas aksiler**. Batang memiliki daerah pemanjangan dan daerah diferensiasi.

Daerah pembelahan pada batang yang sedang tumbuh lebih jauh letaknya dari ujung, dibandingkan dengan daerah pembelahan pada akar. Pada beberapa jenis Gymnospermae (tumbuhan berbiji terbuka) dan dikotil terletak beberapa sentimeter di bawah ujung.

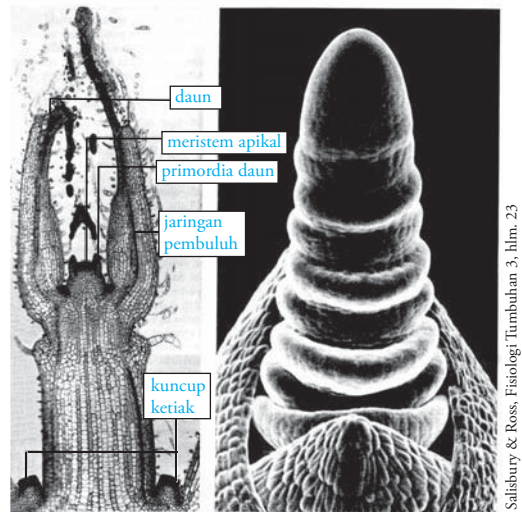
Pertumbuhan primer batang dapat diukur menggunakan alat yang disebut **auksanometer**.

b. Pertumbuhan Sekunder

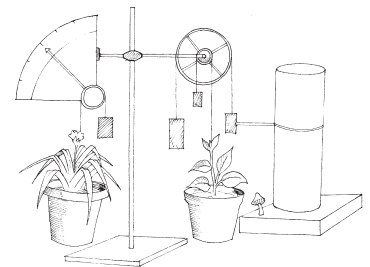
Telah disebutkan sebelumnya bahwa ujung akar dan ujung batang memiliki jaringan meristem yang mengalami proses pembelahan, pemanjangan, dan diferensiasi. Sebagai hasil diferensiasi sel-sel ujung akar dan ujung batang, dihasilkan jaringan epidermis, jaringan dasar dan stele yang kesemuanya adalah jaringan permanen. Jaringan kambium masih tetap bersifat meristematik.

Jaringan kambium memiliki kemampuan membelah ke arah dalam, membentuk xilem sekunder dan ke arah luar membentuk floem sekunder. Dengan penambahan sel sekunder ini mengakibatkan batang bertambah besar. Perhatikan Gambar 1.8.

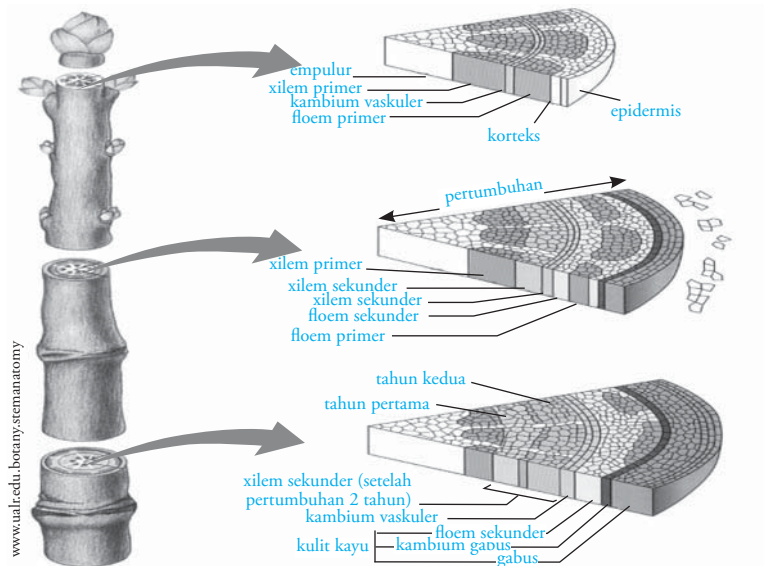
Pembelahan sel-sel jaringan kambium dipengaruhi oleh musim. Pada musim penghujan terbentuk lapisan yang lebih tebal, sebaliknya pada musim kemarau lapisan yang dibentuk lebih tipis. Dengan demikian, selama satu tahun terdapat dua lapisan. Perbedaan ketebalan pertumbuhan membentuk garis melingkar (membentuk lingkaran) dan disebut **lingkaran tahun**. Dengan mengamati lingkaran tahun, dapat diketahui umur tanaman tersebut. Pertumbuhan yang diakibatkan adanya pembelahan sel-sel pada jaringan kambium inilah yang disebut **pertumbuhan sekunder**.



Gambar 1.6 Titik tumbuh batang dan bagian-bagiannya.



Gambar 1.7 Auksanometer



Gambar 1.8 Pertumbuhan sekunder pada batang dikotil

Akibat aktivitas kambium yang kadang-kadang tidak diimbangi oleh pertumbuhan kulit batang tumbuhan, maka jaringan epidermis batang dan korteks pecah dan rusak. Kerusakan jaringan ini membahayakan jaringan-jaringan di dalamnya. Untuk itu tumbuhan membentuk kambium gabus (**felogen**) atau jaringan gabus. Jaringan gabus ke arah dalam membentuk parenkim (**feloderm**) dan ke arah luar membentuk **felem**. Felem (lapisan gabus) tersusun atas sel-sel mati, sedang feloderm (korteks sekunder) tersusun oleh sel-sel hidup. Pada jaringan gabus terdapat celah-celah gabus yang merupakan penghubung antara lingkungan luar dan lingkungan dalam sel tumbuhan yang disebut **lentisel**. Lentisel berfungsi sebagai pintu masuknya udara dan air ke dalam sel-sel tumbuhan.

Kalian telah mempelajari tentang perkecambahan, pertumbuhan primer dan pertumbuhan sekunder. Untuk menguji pemahaman kalian, ikutilah *Uji Kompetensi* berikut.

Uji Kompetensi

Kerjakanlah soal-soal berikut ini.

1. Jelaskan perbedaan dormansi biji dengan biji yang kuisen (*quissance*).
2. Jelaskan tahapan yang terjadi pada proses perkecambahan.
3. Jelaskan pengertian pertumbuhan dan perkembangan. Beri contoh masing-masing.
4. Jelaskan pengertian pertumbuhan primer dan pertumbuhan sekunder.
5. Gambarkanlah pertumbuhan primer dan sekunder pada batang. Sebutkan bagian-bagiannya.

B. Faktor-faktor yang Memengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan

Pertumbuhan dan perkembangan merupakan hasil kerja sama antara faktor dalam dan faktor luar. Faktor dalam (faktor internal) meliputi sifat genetik tumbuhan tersebut yang diperoleh secara turun menurun, yang berupa gen dan hormon. Faktor luar (faktor eksternal) meliputi faktor lingkungan. Faktor genetis pada bab ini hanya akan dibahas secara sekilas. Pengetahuan tentang gen secara panjang lebar akan diuraikan pada Bab 3.

1. Faktor Internal

Adapun faktor-faktor internal yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan adalah sebagai berikut.

a. Gen

Ukuran batang, bentuk daun, biji, dan bunga tumbuhan padi berbeda dengan tumbuhan kacang. Perbedaan pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi dengan kacang tersebut dipengaruhi oleh faktor genetik. Tumbuhan padi yang banyak dijumpai ternyata memiliki banyak jenis, antara lain: IR, rojolele, mentik, dan bramo. Antar jenis yang ada tersebut memiliki faktor genetis yang berbeda-beda pula. Faktor genetis ini banyak digunakan dalam hal pemilihan bibit unggul. Gen pada tumbuhan berperan pada pengaturan reaksi-reaksi kimia dalam sel (metabolisme sel). Berkait dengan gen ini, pemerhati tanaman budidaya mengembangkan penelitian-penelitian yang bertujuan memperoleh biji yang baik untuk bibit, misalnya berapa lama menyimpan biji, berapa lama penjemuran (pengeringan), dan suhu berapakah yang paling cocok untuk penyimpanan.

b. Hormon

Hormon merupakan zat spesifik berupa zat organik yang dihasilkan oleh suatu bagian tumbuhan untuk mengatur pertumbuhan dan perkembangannya. Hormon juga dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.

Hormon-hormon tumbuhan yang telah dikenal pada saat ini meliputi auksin, giberelin, sitokinin, asam absisat, kalin, etilen, dan asam traumalin.

1) Auksin

Auksin atau asam indolasetat ditemukan pada tahun 1926 oleh **Frits Went**. Dia menemukan auksin di ujung koleoptil kecambah *Avena* (sejenis gandum). Perhatikan Gambar. Auksin juga ditemukan di ujung akar dan ujung batang. Beberapa peran auksin dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Menghambat pembentukan tunas samping. Pertumbuhan tunas ujung menghambat pertumbuhan tunas samping. Keadaan ini disebut dominansi pucuk atau dominansi apikal.

Galeri

Frits W. Went



Auksin ditemukan Went saat masih menjadi mahasiswa. Gelar doktor pun disandangnya. Ia menetap di Jawa (saat itu masih jajahan Belanda) selama 5 tahun, kemudian di California Institute of Technology. Tahun 1964, ia melanjutkan penelitian gurun pasir di Desert Biology Laboratory University of Nevada. Sang professor ini meninggal pada 1 Mei 1990.

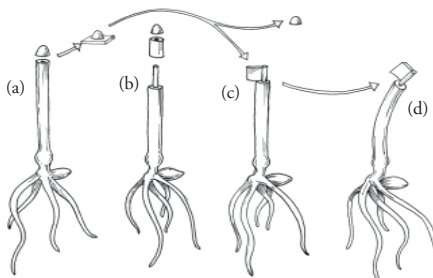
Salisbury & Ross, Fisiologi tumbuhan 3, hlm. 58

Salisbury & Ross, Fisiologi tumbuhan 3, hlm. 58

- Memacu pertumbuhan akar liar pada batang, misalnya pada tanaman apel ditemukan akar pada bawah cabang pada daerah antar nodus.
- Memacu pertumbuhan akar pada tanaman yang dikembangkan dengan stek.
- Memacu berbagai sel tumbuhan untuk menghasilkan etilen.

Gambar 1.9 Peragaan Went. Auksin mengakibatkan bengkaknya ujung koleoptil.

- Ujung koleoptil (*Avena sp.*) dipotong dan dipindahkan diatas potongan agar (koleoptil) yang lain.
- Potongan agar (yang menyerap auksin) ditempelkan pada sisi koleoptil.
- Koleoptil membengkok akibat pemanjangan satu sisi yang menyerap auksin.



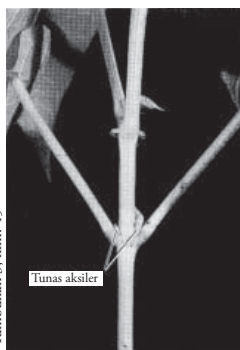
Salisbury & Ross, Fisiologi Tumbuhan 3, hlm. 45

Gambar 1.10

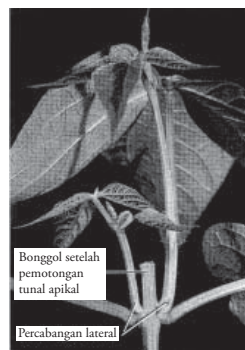
- Pertumbuhan akar pada stek yang dipacu dengan auksin.
- Auksin masih bekerja pada bagian pucuk batang.
- Bila pucuk dipangkas maka pucuk samping akan tumbuh.



Salisbury & Ross, Fisiologi Tumbuhan 3, hlm. 45



Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 2, hlm. 384.



Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 2, hlm. 384.

(a)

(b)

(c)

2) Giberelin

Giberelin pada tumbuhan terdapat pada biji (terutama kacang-kacangan), daun, dan akar. Giberelin berfungsi untuk:

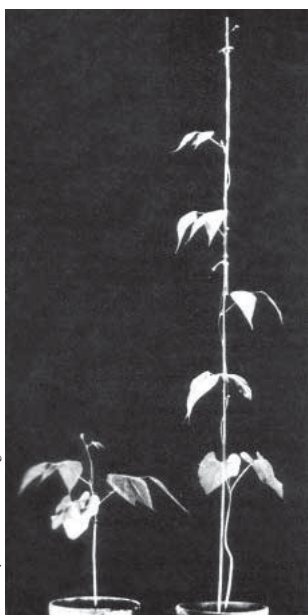
- Memacu pemanjangan batang.
- Mematahkan dormansi biji atau mempercepat perkecambahan.
- Mempercepat munculnya bunga.
- Merangsang proses pembentukan biji.
- Menyebabkan perkembangan buah tanpa biji (parteno karpik).
- Menunda penuaan daun dan buah.

3) Sitokinin

Sitokinin bisa ditemukan di jaringan pembuluh. Sitokinin berfungsi untuk:

- Memacu pembelahan sel pada tahapan sitokinesis.
- Memacu pembentukan kalus menjadi kuncup, batang, dan daun.
- Menunda penuaan daun dan buah.

Salisbury & Ross, Fisiologi tumbuhan 3, hlm. 55



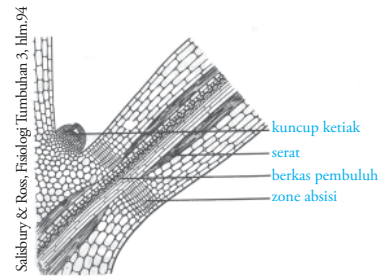
Gambar 1.11 Eksperimen pada tanaman *Phaseolus Vulgaris* yang dipacu dengan giberelin.

- d. Memacu pertumbuhan kuncup samping atau menghambat pengaruh dominansi apikal.
- e. Memperbesar daun muda.

4) Asam Absisat

Asam absisat (ABA) dapat ditemukan pada buah. Hormon ini berfungsi untuk:

- a. Mempertahankan masa dormansi, sehingga menghambat perkecambahan biji.
- b. Mempertahankan diri jika tumbuhan berada pada lingkungan yang tidak sesuai antara lain saat kekurangan air, tanahnya bergaram, dan suhu dingin atau suhu panas.
- c. Merangsang penutupan mulut daun (stomata) sehingga mengurangi penguapan.
- d. Berperan dalam pembentukan zona absisi (Gambar 1.12), sehingga menyebabkan pengguguran daun, bunga, dan buah.



Gambar 1.12 Zona absisi. Pada zona inilah daun, bunga, buah terlepas dari cabang atau batangnya.

5) Kalin

Hormon kalin berperan dalam merangsang pertumbuhan organ (organogenesis). Berdasarkan organ tumbuhan yang dibentuk, hormon kalin dibedakan menjadi: antokalin (memengaruhi pembentukan bunga), filokalin (memengaruhi pembentukan daun), kaulokalin (memengaruhi pembentukan batang), dan rizokalin (memengaruhi pembentukan akar).

6) Etilen

Gas etilen dikeluarkan oleh bagian tumbuhan yang busuk, terutama buah. Apakah kalian pernah melakukan proses pemeraman buah? Jika buah yang telah tua dimasukkan di tempat yang hangat (bukan dipanggang) dalam posisi tertutup rapat, buah cepat masak.

Gas etilen juga berperan pada pengguguran bunga, daun (peran gas etilen pada pengguguran lebih kuat dibanding asam absisat (ABA)). Pada bunga dimulai dengan memudarnya warna, pengkerutan. Pada daun dimulai dengan hilangnya klorofil. Gas etilen yang diberikan bersama auksin dapat merangsang proses pembungaan.

7) Asam traumalin

Asam traumalin berperan dalam proses pembentukan kembali sel-sel yang rusak, jika jaringan tumbuhan terluka.

8) Batasin

Batasan ini ditemukan pada tumbuhan gadung. Jika batasin terkumpul pada bagian kuncup atau tunas, pertumbuhannya akan terhambat.

9) Asam jasmonat

Asam jasmonat ditemukan di dalam minyak melati. Asam jasmonat berfungsi untuk memacu proses penuaan.

Setelah kalian mempelajari tentang hormon, lakukanlah *Telisik* di bawah ini.

Diskusikan dengan teman sekelompok kalian.

- Lengkapi tabel berikut ini!

No	Nama Hormon	Terdapat pada bagian	Fungsi
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			

- Jelaskan hasilnya di depan kelas kalian.

2. Faktor Eksternal

Faktor internal dan faktor eksternal membentuk suatu interaksi dalam hal memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan. Faktor eksternal (faktor lingkungan) yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan meliputi faktor iklim, edafik, dan biologis.

a. Faktor iklim

Yang termasuk faktor iklim yaitu cahaya, suhu, air, panjang hari, angin, dan gas (CO_2 , N_2 , SO_2 , O_2 , dan nitrogen oksida). Pada bab ini tidak semua faktor dibahas tetapi hanya membahas sebagian faktor saja. Untuk faktor iklim misalnya, akan dibahas faktor cahaya atau sinar, suhu udara, oksigen, kelembaban, dan air.

1) Faktor cahaya

Tumbuhan hijau membutuhkan cahaya untuk proses fotosintesis. Proses Fotosintesis menghasilkan zat-zat makanan bagi tumbuhan. Zat makanan inilah yang digunakan oleh tumbuhan sebagai sumber energi untuk melakukan kegiatan-kegiatan hidupnya. Cahaya dapat memicu pembentukan klorofil, perkembangan akar, dan pembukaan daun. Akan tetapi, intensitas cahaya yang terlalu tinggi dapat merusak klorofil.

Diskusi

Menurut kalian, pertumbuhan yang lebih cepat itu terjadi pada tempat gelap ataukah di tempat terang? Berdasarkan bentuk luar tumbuhan dan kualitas tumbuhan yang dihasilkan, pertumbuhan manakah yang dikatakan normal, di tempat gelap ataukah di tempat terang? Diskusikan hal tersebut bersama teman kalian.

Pertumbuhan batang kecambah di tempat gelap lebih cepat (lebih panjang) dibandingkan di tempat terang. Pertumbuhan yang cepat di tempat gelap ini disebut **etiolasi**.

Lama penyinaran matahari memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Banyak penelitian melaporkan bahwa lama penyinaran ini berpengaruh pada fase pembungaan tumbuhan. Lama penyinaran (panjang hari) diterjemahkan sebagai waktu dari matahari terbit sampai dengan matahari terbenam. Di daerah katulistiwa, panjang hari kurang lebih 12,1 jam. Respon tumbuhan terhadap lama penyinaran (panjang hari) disebut **fotoperiodisme**.

Berdasarkan lamanya siang, tumbuhan dibedakan menjadi :

a) **Tumbuhan hari pendek**

Tumbuhan hari pendek adalah tumbuhan yang berbunga pada saat lamanya siang kurang dari 12 jam (lamanya siang lebih pendek dibanding lamanya malam). Contoh: ubi jalar, krisan, aster, mangga (Gambar 1.14a), dan apokat.

b) **Tumbuhan hari panjang**

Tumbuhan ini berbunga pada saat lama siang lebih dari 12 jam (lamanya siang lebih panjang dari lamanya malam). Contoh: kentang, slada (Gambar 1.14b), gandum, dan bayam.

c) **Tumbuhan hari netral**

Tumbuhan ini berbunga hampir sepanjang musim, tidak tergantung lamanya siang hari. Contoh: kapas, mawar (Gambar 1.14c), tumbuhan sepatu, tomat, cabe, dan bunga matahari.

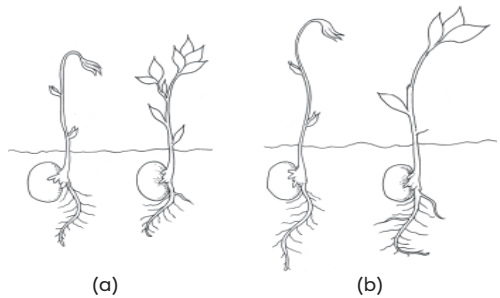
d) **Tumbuhan hari sedang**

Tumbuhan ini berbunga pada saat lama siang sekitar 12 jam. Contoh: tebu (Gambar 1.14d) dan kacang.

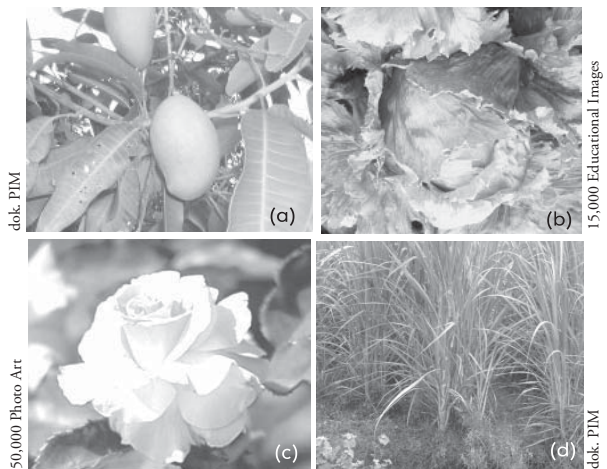
Tumbuhan memiliki zat yang berfungsi mengontrol respon tumbuhan terhadap penyinaran yang disebut **pigmen fitokrom**. Pigmen ini sebenarnya adalah suatu protein yang mampu menyerap cahaya merah dan infra merah dari sinar matahari.

2) **Oksigen**

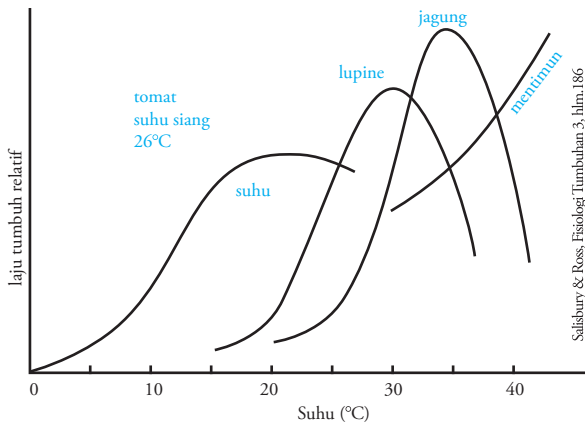
Oksigen diperlukan oleh semua tumbuhan untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Oksigen diperlukan oleh tanaman baik pada bagian tanaman yang ada di permukaan tanah maupun bagian yang ada di dalam tanah, misalnya akar. Aerasi tanah yang cukup, memberikan kesempatan sel-sel akar untuk melakukan respirasi sehingga peredaran unsur-unsur hara dapat meningkat. Oleh karena itu, para petani sering melakukan upaya-upaya penggemburan tanah. Dengan adanya oksigen dalam tanah, organisme-organisme aerob mampu hidup sehingga proses penyediaan unsur-unsur hara tumbuhan lebih meningkat.



Gambar 1.13 (a) tumbuhan kacang di tempat terang, (b) tumbuhan kacang di tempat gelap.



Gambar 1.14 (a) Tumbuhan hari pendek (mangga) (b) Tumbuhan hari panjang (slada) (c) Tumbuhan hari netral (mawar) (d) Tumbuhan hari sedang (tebu)



Salisbury & Ross, Fisiologi Tumbuhan 3, hlm.186

Gambar 1.15 Grafik pertumbuhan berbagai tanaman pada kisaran suhu.

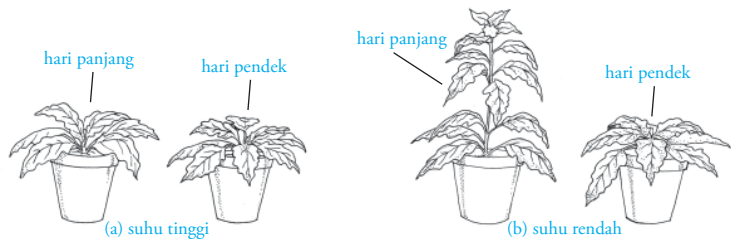
3) Suhu udara

Beberapa proses yang terjadi di dalam tumbuhan sangat tergantung kerja enzim. Enzim bekerja dipengaruhi oleh suhu. Proses respirasi, transpirasi, dan fotosintesis dipengaruhi oleh suhu. Suhu yang terlalu tinggi menyebabkan tumbuhan tidak tumbuh, bahkan mati.

Suhu yang tinggi menyebabkan ketersediaan O_2 untuk respirasi rendah, dan CO_2 dalam sel tinggi, sehingga menghambat respirasi selanjutnya. Suhu yang tinggi juga menyebabkan transpirasi tumbuhan meningkat.

Pengaruh suhu pada fotosintesis lebih banyak pada kerja enzim-enzim fotosintetik. Perhatikan Gambar 1.16.

Gambar 1.16 Pembungaan hanya terjadi karena pengaruh penyimpanan suhu rendah yang diikuti hari panjang.



4) Kelembaban

Kelembaban tanah dan kelembaban udara memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Tanah yang kaya humus mampu menyimpan air lebih banyak, sehingga tanaman tumbuh lebih baik. Tanaman yang tumbuh dengan baik menghasilkan seresah lebih banyak dan meningkatkan bahan organik tanah.

Udara mampu menyimpan air. Kadar air yang ada di udara disebut kelembaban udara. Kadar air di udara yang tinggi, berpeluang untuk menjadi awan dan hujan. Air hujan masuk ke dalam tanah dan akan disimpan dalam tanah, menjamin ketersediaan air bagi tumbuhan.

Kalian telah belajar tentang pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan serta faktor-faktor luar yang memengaruhinya, bahkan telah melakukan percobaan tentang pengaruh lama perendaman biji kacang tanah terhadap perkecambahannya. Di akhir kegiatan tersebut kalian diminta untuk membuat rancangan percobaan dengan judul tertunjuk (telah disediakan oleh gurumu).

b. Faktor Edafik (Tanah)

Faktor edafik meliputi struktur, tekstur, bahan organik, pH dan ketersediaan nutrisi. Pada bab ini hanya dibahas faktor nutrisi saja. Ilmu nutrisi tanaman telah diterapkan sejak 160 tahun yang lalu berdasar eksperimen klasik Liebig, Lauwes, dan Gilbert.

Ada banyak unsur yang diperlukan oleh tumbuhan. Seperti halnya makhluk hidup yang lain, tumbuhan memerlukan nutrisi atau makanan untuk hidupnya. Tumbuhan hijau mengambil nutrisi dari udara, air, dan dari dalam media tumbuhnya. Misalnya dari dalam tanah, nutrisi diambil dalam bentuk ion. Unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tumbuhan dalam jumlah yang banyak disebut **unsur makro (makronutrien)** dan yang dibutuhkan dalam jumlah sedikit disebut **unsur mikro (mikronutrien)**.

Sumber-sumber nutrisi bagi tumbuhan berupa zat-zat organik dan zat-zat anorganik. Perbaikan kesuburan tanah secara alami dengan pemupukan, baik menggunakan pupuk alami maupun pupuk buatan banyak dilakukan oleh para petani.

Disamping penambahan zat-zat organik dan zat-zat anorganik, nutrisi yang ada dalam tanah berasal dari hasil pelapukan mineral anorganik dan hasil biodegradasi bahan organik.

Unsur-unsur yang telah tersedia dalam media tanam (misalnya tanah) tidak segera dapat dipergunakan oleh tumbuhan apabila faktor-faktor lain tidak terpenuhi, misalnya adanya mikrobia dalam tanah.

Unsur makro terdiri dari: C (karbon), H (hidrogen), O (oksigen), N (nitrogen), S (sulfur), P (fosfor), K (kalium), Mg (magnesium), dan Ca (kalsium). Unsur mikro terdiri dari: Cl (klor), Fe (besi), B (boron), Mn (mangan), Zn (seng), Co (koper), dan Mo (molibdeum).

Tumbuhan yang kekurangan nutrisi pada media tanamnya akan mengalami **defisiensi**. Apabila hal ini terjadi, maka pertumbuhan dan perkembangannya tidak sempurna.

Berikut adalah tabel fungsi unsur dan penyakit tumbuhan akibat kekurangan unsur.

Tabel 1.1. Unsur-unsur yang dibutuhkan tumbuhan, fungsi, dan penyakit akibat kekurangan unsur (defisiensi)

Nama Unsur	Bentuk Senyawa dan Ion	Fungsi	Penyakit Akibat dari Kekurangan Unsur
Unsur Makro			
C (karbon) H (hidrogen) O (oksigen)	CO ₂ H ₂ O O ₂	Menyusun hasil fotosintesis	Metabolisme terhambat, pertumbuhan terhambat.
N (nitrogen)	Ion NH ₄ ⁺ (ammonium), ion NO ₃ ⁻ (nitrat), Urea (CO(NH ₂) ₂), NaNO ₃	Komponen penyusun protein, asam nukleat, klorofil, vitamin, dan beberapa hormon tumbuhan.	Daun muda warnanya pucat, daun tua kekuningan dan biasanya gugur. Penyakit ini disebut klorosis .
S (sulfur)	Ion Sulfat (SO ₄ ⁻²) dan Sulfida	Komponen penyusun protein dan vitamin, mempercepat perkembangan akar, dan mengaktifkan enzim.	Warna daun pucat atau kuning kehijauan dan pertumbuhan lambat.

P (fosfor)	Ion $\text{H}_2\text{PO}_4^{-2}$ dan $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$	Komponen penyusun asam nukleat (RNA dan DNA), ATP, pembuatan karbohidrat, protein dan lemak.	Pertumbuhan terhambat, buah dan biji yang dihasilkan sedikit.
K (kalium)	Ion K^+	Penyusun karbohidrat, protein dan klorofil, mengaktifkan enzim (aktivator enzim), mengatur keseimbangan kelarutan air, dan mempengaruhi osmosis.	Daun tua menggulung, ada bercak-bercak, tepi daun hangus, tumbuhan mudah roboh, dan pertumbuhan lambat.
Mg (magnesium)	MgSO_4 , ion Mg^{2+}	Menyusun klorofil dan mengaktifkan enzim.	Menderita klorosis dan daun mudah gugur.
Ca (kalsium)	CaCl_2 , CaNO_3 , ion Ca^{++}	Menguatkan dinding sel, pencegah keracunan sel, dan berperan pada kegiatan titik tumbuh.	Tunas ujung mati, tidak terbentuk daun dan pertumbuhan akar terhambat.
Unsur Mikro			
Cl (klor)	ion Cl^-	Mengatur pertumbuhan akar batang, mengatur fotolisis, metabolisme karbohidrat.	Klorosis, daun layu, akar pendek dan menebal.
Fe (besi)	ion Ferro (Fe^{2+}) dan Ferri (Fe^{3+}), FeCl_3 , serta $\text{Fe}(\text{SO}_4)$	Berperan dalam pembentukan klorofil, menyusun enzim sitokrom dan peroksidase	Daun pucat, klorosis dan mati.
B (boron)	ion B^{2-} , H_3BO_3 (asam borak)	Pembentukan bintil akar, proses fotosintesis, pemecahan protein, perkecambahan, pembungaan.	Pertumbuhan tunas terganggu, daun tebal dan keriting.
Mn (mangan)	ion Mn, MnSO_4	Menyusun klorofil dan vitamin C serta menggiatkan koenzim.	Warna daun memutih dan gugur.
Zn (seng)	ion Zn^{2+} , ZnSO_4	Aktivator enzim, prekursor auksin, kloroplas, amilum dan berperan dalam sintesa protein.	Daun mengecil dan ruas-ruas menjadi lebih pendek.
Co (koper)	ion Co^{2+} dan Co^{3+} , CoCl_2	Fiksasi N dari udara dan komponen vitamin B kompleks.	Klorosis, pertumbuhan terhambat.
Mo (molibdenum)	ion Mo^+ dan MoO_4^{2-} , Na_2MoO_4	Berperan pada fiksasi N dari udara, metabolisme besi, dan kofaktor enzim.	Daun pucat.

Unsur-unsur tersebut dapat segera digunakan oleh tanaman apabila didukung oleh faktor pH tanah yang sesuai. Pada umumnya pH yang baik untuk banyak tanaman adalah 6,0 - 7,0. Tanaman kentang, ubi jalar cocok pada pH 4,5 - 5,5 sedangkan seledri, kubis pada pH 6,5 - 7,5.

Dari manakah unsur-unsur tersebut diperoleh? Di depan telah disebut bahwa unsur-unsur tersebut ada yang diambil dari tanah, ada pula yang diambil dari udara dan air seperti C, H dan O.

Apakah kalian pernah melihat para petani membiarkan batang padinya berada di sawah setelah selesai dipanen? Batang-batang padi tersebut dapat berfungsi sebagai pupuk organik. Semua bagian tubuh tumbuhan dapat dipakai sebagai pupuk organik. Bahkan beberapa tumbuhan dari jenis tumbuhan polong-polongan, selain sebagai sumber pupuk organik, akar tumbuhan tersebut memiliki bintil-bintil akar yang kaya mikroorganisme *Rhizobium* yang dapat mengikat N dari udara.

Pupuk organik yang lain, berasal dari kotoran hewan atau bangkai hewan (hewan yang telah mati). Kotoran hewan meliputi kotoran sapi, kotoran domba, kambing, kuda, dan kerbau. Pupuk organik digunakan sebagai pupuk dasar. Rekombinasi penggunaan pupuk kandang untuk tanaman dan kandungan unsur N, P, dan K pada pupuk organik dapat dilihat pada Tabel 1.2 dan 1.3.

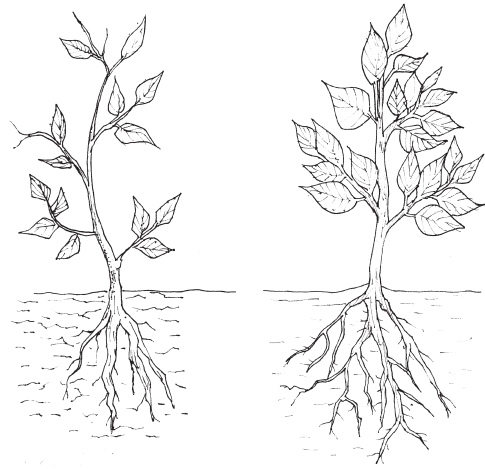
Tabel 1.2. Kandungan N, P, K pada berbagai pupuk organik

Pupuk Organik	N(%)	P(%)	K(%)
Kerbau	0,7	2,5	0,4
Sapi	1,6	2	0,5
Kuda	1,7	–	4,0
Ayam	2,1	3,9	0,4
Azolla	4	10	3
Jerami	0,8	1,5	–
Limbah tapioka	0,9	0,2	–
Limbah tahu	4,2	–	–
Blotong	0,2	–	1,5
Daun lamtoro	4,3	4,0	4,0

Sutanto, Penerapan Pertanian Organik

Tanah yang cukup mengandung pupuk organik, mampu mengikat air lebih banyak untuk memenuhi kebutuhan tumbuhan.

Beberapa mikrofauna dan mikroflora yang ada dalam tanah berperan dalam penyedia unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tumbuhan untuk memenuhi kebutuhannya. Mikroorganisme tersebut adalah bakteri nitrifikasi, bakteri *Rhizobium*, *Azotobakter*, *Nitrosomonas*, dan *Nitrosococcus*. Tumbuhan paku air *Azolla pinata* dan ganggang hijau biru dapat mengikat N dari udara. Cendawan merupakan organisme pembusuk bahan organik. Beberapa hewan kecil penyedia unsur adalah dari kelompok insekta (semut, rayap), dan cacing tanah. Mikrofauna dan mikroflora tersebut dapat hidup di dalam tanah apabila syarat-syarat hidupnya terpenuhi seperti aerasi dalam tanah, kelembaban tanah, temperatur tanah, ketersediaan bahan organik, dan pH tanah.



Gambar 1.17 (a) tanaman dengan sistem perakaran buruk, tanah tidak dicampur dengan pupuk organik, (b) tanah dicampur dengan pupuk organik.

Sutanto, Penerapan Pertanian Organik, hlm. 13

Tabel 1.3. Penggunaan pupuk kandang pada padi, jagung, kedelai, dan tebu

Jenis Tanaman	Pupuk Kandang (Ton/Ha)
Padi (per tanaman 1)	20 – 30
Padi (per tanaman 1)	15 – 30
Jagung	20 – 25
Kedelai	20 – 30
Tebu	40 – 60

Sutanto, Penerapan Pertanian Organik

Galeri

Kandungan N pada Azolla

Diketahui bahwa paku air *Azolla pinata* merupakan sumber N yang potensial. Dari setiap 10 ton *Azolla* mengandung N sebesar 30 kg.

Sutanto, Penerapan Pertanian Organik

c. Faktor Biologis

Meliputi gulma, serangga, organisme penyebab penyakit, nematoda, maupun mikroorganisme tanah (misalnya: bakteri Rhizobium dan Mikorhiza).

Uji Kompetensi

Kerjakanlah soal-soal berikut ini.

1. Jelaskan perbedaan antara faktor internal dan faktor eksternal? Sebutkan contohnya masing-masing.
2. Apa yang dimaksud dengan unsur makro (makronutrien) dan unsur mikro (mikronutrien)?
3. Jelaskan fungsi dari unsur Nitrogen.
4. Jelaskan akibat yang ditimbulkan pada tumbuhan jika mengalami kekurangan unsur kalium.
5. Sebutkan dan jelaskan pengaruh hormon pada pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.

C. Merancang Percobaan Pengaruh Faktor Luar terhadap Pertumbuhan dan Perkembangan

Sebelum meneliti pengaruh faktor luar terhadap pertumbuhan dan perkembangan, kalian perlu melakukan langkah-langkah metode ilmiah. Tahapan atau langkah-langkahnya adalah sebagai berikut.

1. Menemukan Masalah

Masalah adalah segala sesuatu yang tidak sama atau tidak sesuai dengan harapan pengamat. Masalah yang terkait dengan pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan dapat muncul setelah pengamat melakukan pengamatan tentang pertumbuhan dan perkembangan, atau memperoleh informasi dari orang lain yang pernah mengamati (dapat berupa informasi tertulis misalnya informasi yang ditulis di buku dan media masa, atau dapat pula berupa informasi lisan).

Contohnya, pengamat melihat beberapa pot tanaman lidah buaya di sebuah taman yang memperoleh sinar matahari sepanjang hari. Daun dan batangnya menguning, kecil-kecil, dan terlihat tidak subur. Dari kenyataan ini, pengamat menemukan masalah apakah menguningnya daun dan batang lidah buaya disebabkan oleh terik matahari sepanjang hari? Bukankah tanaman itu membutuhkan cahaya? Sebenarnya, seberapa banyak cahaya yang dibutuhkan? Seorang pengamat yang ingin meneliti harus memilih masalah yang ingin diteliti. Pemilihan masalah menentukan langkah-langkah berikutnya.

2. Merumuskan Masalah

Dari beberapa masalah yang muncul dari pengamatan kemudian dipilih dan disusun menggunakan kalimat yang padat dan jelas. Misalnya, apakah ada pengaruh lama penyinaran matahari terhadap pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan lidah buaya? Dapat pula

masalahnya dipersempit lagi misalnya, apakah ada pengaruh lama penyinaran matahari terhadap pertumbuhan dan perkembangan daun lidah buaya? Rumusan masalah selalu menggunakan kalimat tanya.

3. Merumuskan Hipotesis

Hipotesis merupakan dugaan sementara yang ditetapkan oleh seorang peneliti. Kebenaran hipotesis dibuktikan dengan penelitian lebih lanjut. Hipotesis muncul setelah peneliti merumuskan masalah. Contohnya jika rumusan masalahnya apakah ada pengaruh lama penyinaran matahari terhadap pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan lidah buaya? Maka hipotesis nol (H_0) adalah tidak ada pengaruh lama penyinaran matahari terhadap pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan lidah buaya.

Rumusan kalimat pada hipotesis bukan kalimat tanya. Pada saat peneliti merumuskan hipotesis, sebaiknya peneliti melakukan pengamatan lebih mendalam lagi tentang hal yang akan diteliti. Contoh jika rumusan masalahnya adalah apakah ada pengaruh lama penyinaran matahari terhadap pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan lidah buaya, maka peneliti terlebih dahulu mengamati pertumbuhan lidah buaya di tempat yang teduh atau di tempat amat terlindung. Peneliti mencari informasi lebih lanjut, berapa lama tumbuhan lidah buaya berada di tempat itu.

4. Merancang Percobaan

Rancangan percobaan meliputi menetapkan variabel penelitian, alat dan bahan, cara kerja, dan bentuk format tabel data. Di samping itu, penting pula menetapkan waktu dan tempat percobaan.

a. Menetapkan variabel penelitian

Ada 3 macam variabel penelitian yaitu variabel bebas, variabel terikat (variabel terganggu), dan variabel kontrol.

1) Variabel bebas

Variabel bebas adalah uji coba atau perlakuan (*treatment*) yang dikenakan pada objek yang diteliti. Pada contoh di atas, objek yang diteliti adalah tumbuhan lidah buaya. Uji cobanya adalah pemberian lama penyinaran sinar matahari yang bervariasi misalnya disinari sepanjang hari, disinari pagi hari (tumbuhan diletakkan di sebelah timur bangunan), disinari sore hari (diletakkan di sebelah barat bangunan), diletakkan dalam ruangan yang tetap terang, dan diletakkan di bawah pohon rindang. Jadi ada 5 perlakuan. Setiap perlakuan disediakan minimal 3 ulangan (3 pot tanaman).

2) Variabel terikat

Variabel terikat adalah sesuatu yang ingin diamati karena perlakuan yang diberikan atau dampak dari uji coba. Menetapkan variabel terikat dengan cara menetapkan hal yang dilakukan saat mengamati dampak uji coba.

Contoh: pada penelitian di atas, hal yang diamati adalah pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan lidah buaya. Tumbuhan lidah buaya dikatakan tumbuh dan berkembang dengan baik, jika daun yang ada bertambah panjang, besar, tumbuh anakan baru, daunnya hijau segar, lebih tebal, beratnya tambah dan lainnya.

3) Variabel kontrol

Meliputi semua kondisi yang harus sama atau relatif sama dalam suatu penelitian. Kondisi ini harus dijaga terus oleh peneliti selama penelitian berlangsung.

Contoh: kondisi awal tumbuhan (kekuningannya), jumlah daun (kalau tidak sama, peneliti harus lebih teliti mencatat kondisi awal), jenisnya (dapat dengan mengambil dari satu tempat), medium tanam, besar pot, campuran pupuk, penyiraman, dan kondisi udara.

b. Menetapkan Alat dan Bahan

Untuk dapat menetapkan alat yang digunakan, peneliti harus memiliki gambaran utuh pelaksanaan percobaan, apakah dengan bedengan-bedengan sawah atau pekarangan, apakah dengan polibag atau dengan pot. Kemudian juga gambaran tentang perlengkapan bercocok tanam, alat pengukur variabel kontrol, variabel terikat, serta variabel bebas. Sedangkan jumlah pot atau bedengan tergantung pada jumlah ulangan.

Adapun bahan yang digunakan ditetapkan berdasarkan permasalahan. Contoh bahan meliputi tumbuhan lidah buaya, air untuk menyiram, dan pupuk. Jumlah bahan yang diperlukan tergantung pada jumlah ulangan setiap perlakuan. Jika ada 5 perlakuan, dan setiap perlakuan menggunakan 3 ulangan, maka jumlah pot yang dibutuhkan adalah $3 \times 5 = 15$ dengan setiap pot minimal satu tanaman.

Agar kalian memahami tentang rancangan percobaan, perhatikan rancangan percobaan pengaruh faktor luar berikut.

Ada informasi bahwa air merupakan zat yang dapat menghentikan masa dormansi biji. Petani melakukan perendaman biji selama satu malam sebelum menanamnya. Dari informasi tersebut, muncul:

- a. Rumusan masalah : Seberapa banyak air yang dapat menyebabkan masa dormansi biji berakhir? Apakah semakin lama biji direndam, semakin banyak air yang masuk sehingga semakin cepat pertumbuhan kecambahnya?
- b. Hipotesa : Tidak ada pengaruh lama perendaman biji terhadap perkecambahan biji kacang.
Rancangan percobaan untuk mencari jawaban hipotesa sebagai berikut:
 - a. Judul penelitian : Pengaruh lama perendaman biji terhadap perkecambahan biji kacang.

- b. Variabel bebas : Berbagai lama perendaman biji (6 jam, 12 jam, 18 jam, dan 24 jam). Jadi, ada empat perlakuan.
- c. Variabel terikat : Perkecambahan biji, yang diamati adalah pertambahan panjang kecambah hingga hari ke-15 setelah ditanam.
- d. Variabel kontrol : Cahaya, volume air rendaman, tempat penelitian, dan penyiraman. Variabel ini sama untuk semua perlakuan yang telah ditetapkan.

Lakukanlah percobaan berdasarkan rancangan percobaan di atas, melalui rubrik *Percobaan* berikut.

Percobaan

Mengetahui Pengaruh Air terhadap Proses Perkecambahan

A. Dasar teori

Perkecambahan dipengaruhi oleh faktor internal dan faktor eksternal. Salah satu faktor eksternal yang memengaruhi perkecambahan adalah air. Persyaratan awal perkecambahan adalah berakhirnya masa dormansi biji. Air merupakan zat yang dapat menghentikan masa dormansi biji. Tahap awal perkecambahan adalah masuknya air ke dalam biji (imbibisi).

B. Tujuan

Mengetahui pengaruh lama perendaman biji dalam air terhadap perkecambahan

C. Alat dan Bahan

1. Gelas ukur
2. Cawan Petri 8 buah atau piring 4 buah
3. Tempat merendam biji (mangkok atau gelas atau cangkir) 4 buah
4. Empat puluh biji kacang tanah yang sehat dan cukup umur
5. Kapas secukupnya
6. Air sumur (bukan air ledeng atau pam)

D. Langkah Percobaan

1. Siapkan masing-masing 10 biji kacang tanah yang telah direndam selama 6 jam, 12 jam, 18 jam, dan 24 jam. Siapkan cawan Petri 8 buah, berilah kapas basah (air tidak perlu terlalu menggenang). Jumlah air untuk setiap Petri sama.

Catatan: Jika menggunakan piring cukup 4 buah, perhatikan pada saat mempersiapkan kapas, usahakan pada bagian piring yang rata.

2. Cawan petri dikelompokkan menjadi 4 kelompok :
 - Kelompok A (cawan 1 dan 2): masing-masing diisi dengan 5 biji kacang yang direndam 6 jam.
 - Kelompok B (cawan 3 dan 4): masing-masing diisi dengan 5 biji kacang yang direndam 12 jam.
 - Kelompok C (cawan 5 dan 6): masing-masing diisi dengan 5 biji kacang yang direndam 18 jam.
 - Kelompok D (cawan 7 dan 8): masing-masing diisi dengan 5 biji kacang yang direndam 24 jam.

Catatan: Jika menggunakan piring, sebuah piring untuk 10 biji kecambah.

Piring untuk kelompok A,B, C, dan D masing-masing diisi dengan biji yang direndam 6 jam, 12 jam, 18 jam, dan 24 jam.

3. Amati jumlah biji yang berkecambah setiap hari sekali. Biji disebut berkecambah jika telah muncul tunas minimal 1 cm.

Catat hasil pengamatanmu pada Tabel (a).

Setelah biji berkecambah, tunggulah sampai berumur 15 hari. Ukur tinggi batang, jumlah daun, warna batang, warna daun, dan timbanglah. Catat pada Tabel (b).

Tabel (a) Jumlah Biji yang Berkecambah

Pengamatan ke	Jumlah biji yang berkecambah							
	Direndam 6 Jam		Direndam 12 Jam		Direndam 18 Jam		Direndam 24 Jam	
	Cawan 1	Cawan 2	Cawan 3	Cawan 4	Cawan 5	Cawan 6	Cawan 7	Cawan 8
Hari ke 1								
Hari ke 2								
dst s/d hari ke 15								

Tabel (b). Kualitas Kecambah Umur 15 hari

Gambar Tanaman	Tinggi	Warna Batang	Jumlah Daun	Warna Daun	Rata-rata Ukuran Daun	Berat Kecambah

E. Pembahasan

1. Sebutkan cara-cara mengukur pertumbuhan.
2. Pada perendaman berapa jam, biji paling cepat berkecambah?
3. Jelaskan tahapan perkecambahan biji.

Catatan:

- a. Jika penelitiannya diganti dengan pengaruh cahaya terhadap proses perkecambahan biji, cobalah rancang penelitiannya.
- b. Jika penelitiannya tentang pengaruh ukuran biji terhadap proses perkecambahan, cobalah rancang penelitiannya.
- c. Jika penelitiannya tentang pengaruh kedalaman penanaman biji terhadap proses perkecambahan, cobalah rancang penelitiannya.
- d. Ketiga rancangan penelitian tersebut bisa kalian jadikan proyek penelitian. Rancangan penelitian, memuat rumusan masalah, hipotesa, variabel penelitian, alat dan bahan, cara kerja dan tabel data pengamatan. Mintalah bimbingan guru apabila kalian mengalami kesulitan. Kalian dapat menentukan sendiri jumlah perlakuan dan jumlah ulangnya.
- e. Komunikasikan hasil percobaan (eksperimen) kalian dengan berbagai cara antara lain presentasi kelompok, seminar, laporan tertulis, dan pameran display hasil-hasil eksperimen.

Tentunya kalian sudah memahami bagaimana langkah-langkah merancang suatu percobaan, bukan? Untuk menambah pemahaman, kalian bisa melakukan kegiatan pada rubrik Telisik berikut.

TELISIK

Merancang Percobaan Pertumbuhan dan Perkembangan

Kerjakan kegiatan ini dengan berkelompok.

1. Lengkapi tabel di bawah ini, untuk berlatih menemukan masalah, merumuskan masalah, merumuskan hipotesis, menetapkan variabel penelitian, serta alat dan bahan.

Informasi	Masalah-masalah yang muncul	Rumusan Masalah	Rumusan Hipotesis	Variabel-variabel Penelitian
<p>Para ibu penggemar tanaman anggrek <i>Dendrobium sp.</i>, setiap pagi dan sore hari, menyiram tanaman anggreknya dengan air beras yang diencerkan. Komentar mereka adalah tanaman anggreknya rajin berbunga, sehat, dan memiliki anakan banyak. Anggrek <i>Dendrobium sp.</i>, sekalipun batangnya tidak berdaun, tetap dapat berbunga. Setiap batang dapat tumbuh lebih dari satu tandan bunga.</p>				

2. Tetapkan jumlah perlakuan, jumlah ulangan untuk setiap perlakuan.
3. Tetapkan alat dan bahan yang digunakan.
4. Tetapkan cara kerja dengan urut dan jelas.
5. Rancanglah tabel data pengamatannya.
6. Lakukan percobaan dengan penuh ketelitian dan kesabaran.
7. Kumpulkan data pengamatanmu.
8. Bandingkan tanaman *Dendrobium sp.* yang diberi perlakuan berbeda.
10. Buatlah kesimpulan dari hasil percobaanmu.
11. Carilah informasi (dari buku, media massa) yang terkait dengan pembungaan tanaman *Dendrobium sp.*
12. Laporkan hasil kegiatanmu secara tertulis.

Kelompok yang lain dapat meneliti atau merancang percobaan yang berbeda. Berikut ini ada beberapa tawaran yang berupa informasi-informasi yang dapat memberikan inspirasi untuk memperoleh permasalahan. Lakukan langkah-langkahnya seperti pada diskusi sebelumnya. Informasi-informasi itu sebagai berikut :

- a. Pak Amir telah beberapa musim padi ini, menanam padi dengan menggunakan pupuk alami (pupuk kandang dan kompos). Dia memupuk lahannya sebelum tanam. Menurut pengalaman Pak Amir, ternyata hasil panennya lebih banyak dibanding ketika menggunakan pupuk buatan (Urea dan TSP). Pada saat menggunakan pupuk buatan, satu kali musim tanam memupuknya 3x yaitu 10 hari setelah tanam, 35 hari setelah tanam, dan 50 hari setelah tanam.

Tanaman padi termasuk tanaman air. Setiap batang padi menghasilkan 1 bulir padi. Jumlah gabah yang dihasilkan tergantung banyak sedikitnya bulir (tergantung jumlah batang setiap rumpunnya) dan panjang tiap bulirnya. Tanaman padi yang dipupuk dengan pupuk kandang dan kompos tidak mudah roboh dan perakarannya lebih banyak.

- b. Pengalaman petani kacang panjang adalah melakukan pengurangan daun kacang agar tanamannya berbuah lebat. Hal ini telah mereka lakukan berkali-kali.
- c. Pak Slamet, ketika bercocok tanam bayam, menggunakan pupuk alami (kompos dan kandang). Bayam ia tanam dengan stek (bukan jenis bayam cabut). Ketika memanen bayam, ia selalu memperhatikan saat pemetikannya, yaitu dilakukan sebelum tanamannya berbunga.
- d. Pengrajin tanaman hias SEMBOJA JEPANG, meletakkan tanamannya di tempat yang memperoleh sinar matahari sepanjang hari. Tanamannya semuanya sedang berbunga. Jumlah bunganya melebihi jumlah daunnya hingga dari kejauhan tampak seperti tidak berdaun.

Menurut Pak Slamet, dengan begitu tanaman bayamnya bercabang banyak sehingga hasil panen pun lebih banyak. Di samping itu umur tanamannya lebih panjang, meski daun bayam yang tua memiliki cita rasa yang kurang enak.

Setelah melakukan rubrik Telisik, lanjutkan dengan mengikuti rubrik *Diskusi* dan *Uji Kompetensi* berikut.

Diskusi

Dapatkah kalian melakukan kegiatan penelitian tanpa memperhatikan langkah-langkah metode ilmiah? Bagaimanakah hasilnya jika kalian melakukan hal tersebut? Diskusikan dengan kelompok kalian.

Uji Kompetensi

Kerjakanlah soal-soal berikut ini.

1. Sebutkan tahapan yang dilakukan dalam menentukan metode ilmiah.
2. Apa yang dimaksud dengan hipotesis?
3. Jelaskan upaya yang dilakukan peneliti pada saat menentukan hipotesis.
4. Apa yang dimaksud dengan variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol?
5. Salah satu tahapan dalam metode ilmiah adalah merumuskan masalah. Jelaskan.

Ikhtisar

1. Pertumbuhan pada makhluk hidup ditandai dengan adanya penambahan tinggi dan besar tubuh tumbuhan.
2. Perkembangan adalah suatu proses menuju ke arah kedewasaan.
3. Pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan berbiji dimulai dengan patahnya dormansi biji, pembelahan sel, perbesaran dan pemanjangan sel, diferensiasi, dan organogenesis.
4. Ada dua tipe perkecambahannya yaitu perkecambahan hipogeal dan perkecambahan epigeal.
5. Pertumbuhan tumbuhan karena pembelahan sel pada jaringan meristem primer disebut pertumbuhan primer, sedangkan hasil pembelahan sel pada jaringan meristem kambium disebut pertumbuhan sekunder.

6. Pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan merupakan hasil interaksi antara faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal meliputi faktor gen, dan hormon, sedang faktor eksternal berupa iklim, tanah, dan organisme pengganggu.
7. Hormon adalah senyawa organik yang dihasilkan oleh bagian tubuh tumbuhan yang berfungsi mengatur pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan itu sendiri.
8. Pemupukan merupakan suatu usaha manusia untuk memberi atau menambahkan unsur-unsur yang diperlukan oleh tumbuhan. Pupuk tanaman meliputi pupuk organik (pupuk alami) dan pupuk anorganik (buatan).
9. Pupuk organik berupa kotoran hewan, hijauan (tanaman atau bagian tanaman) yang telah diproses dengan teknik-teknik pengolahan tertentu, atau v dapat pula berupa bangkai. Tumbuhan tertentu dapat digunakan untuk menyediakan bahan organik bagi tumbuhan budidaya.
10. Langkah-langkah metode ilmiah dilakukan dalam rangka memperoleh ilmu dan sikap ilmiah.

Senarai kata

Aleuron Selaput tipis yang berbentuk kantung, kaya protein, tersusun oleh sel-sel yang hidup, dan sebagai pembungkus biji

Dormansi Kondisi biji yang masih hidup tetapi tidak aktif, berada dalam kondisi kering (kelembabannya kurang) dan tidak dapat (gagal) berkecambah selama periode waktu tertentu karena faktor internal biji

Diferensiasi Perubahan sel-sel tumbuhan untuk membentuk sel-sel baru atau bentuk yang berbeda dari bentuk atau sel tumbuhan yang lain

Epikotil Bagian dari tumbuhan, di atas kotiledon, jika tumbuh menjadi batang dan daun

Fotoperiodisme Suatu respon tumbuhan terhadap rangsang periode penyinaran

Hilum Disebut juga dengan pusar biji, merupakan bagian yang berfungsi untuk memasukkan air dan O₂. Biasanya terdapat pada buah polong (kacang)

Hipokotil Bagian embrio, di bawah kotiledon

Imbibisi Proses awal perkecambahan, dimana air masuk ke dalam biji lewat kulit biji

Meristem Bagian tumbuhan yang aktif membelah.

Mikropil Pintu masuknya air dan gas-gas terlarut serta inti sperma dan inti vegetatif pada saat pembuahan berlangsung

Morfogenesis Serangkaian proses perubahan bentuk tumbuhan sehingga dengan perkembangan tersebut, tumbuhan menjadi semakin dewasa dan lengkap organnya

Organogenesis Pembentukan organ tumbuhan yang merupakan bagian dari morfogenesis

Ruas Disebut juga internodus yaitu jarak antara dua buku (nodus) pada akar atau batang

Pucuk Istilah yang diperuntukkan kolektif batang utama penyangga daun, batang, daun, dan kadang bunga

Titik tumbuh akar Bagian yang ada pada jaringan meristem akar yang memiliki tudung akar

Titik tumbuh batang Jaringan meristem yang ada pada batang sebagai penentu pertumbuhan batang

Tumbuhan hari panjang Tumbuhan yang berbunganya pada saat panjang penyinaran setiap siangnya lebih dari 12 jam

Tumbuhan hari pendek Tumbuhan yang berbunganya pada saat panjang penyinaran siang harinya lebih pendek dari 12 jam

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

- Kotiledon pada tumbuhan monokotil disebut
 - embrio
 - skutelum
 - radikula
 - kaulikulus
 - aleurone
- Perkecambahan epigeal dan hipogeal dibedakan berdasarkan letak
 - hipokotil
 - epikotil
 - radikula
 - keluarnya pucuk
 - kotiledon
- Dengan mencermati bagian-bagian titik tumbuh akar, diketahui bahwa daerah pemanjangan sel terdapat pada bagian
 - tudung akar
 - meristem apikal
 - meristem kambium
 - di belakang meristem apikal
 - dekat pucuk
- Tanaman yang terlindung memiliki pertumbuhan dan perkembangan yang berbeda dengan tanaman yang terkena sinar matahari. Faktor yang memengaruhinya adalah
 - suhu udara
 - kelembaban udara
 - sinar matahari
 - ketiganya
 - pH
- pH tanah memiliki peranan dalam mengatur penyerapan unsur hara oleh akar tanaman. Kebanyakan tumbuhan, tumbuh dan berkembang dengan maksimal jika pH tanah
 - kurang dari 4
 - 4 – 5
 - 5 – 6
 - 6 – 7
 - lebih dari 7
- Tumbuhan yang memiliki kemampuan membentuk tunas samping sangat maksimal, dimungkinkan adanya peran hormon
 - auksin
 - giberelin
 - sitokinin
 - asam absisat
 - traumalin
- Tubuh tumbuhan mampu memperbaiki bagian tubuhnya yang terkena luka karena memiliki hormon
 - auksin
 - giberelin
 - sitokinin
 - asam absisat
 - traumalin
- Suhu tidak berpengaruh pada pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan untuk proses
 - aktivitas enzim
 - transpirasi
 - fotosintesis
 - turgor
 - respirasi
- Klorosis pada tumbuhan dapat dicegah dengan cara memupuk tanah menggunakan pupuk yang mengandung
 - C, H, O, N
 - N, P, K
 - Posfat
 - Urea
 - N, Mg, Fe
- Hormon pada tumbuhan yang peranannya besar sekali pada cuaca buruk adalah
 - traumalin
 - sitokinin
 - etilen
 - absisat
 - jasmonat

11. Saat ini banyak pengrajin tanaman yang khusus untuk dinikmati keindahan bunganya, kemungkinan yang dapat mereka lakukan adalah menggunakan hormon
 - a. auksin
 - b. giberelin
 - c. sitokinin
 - d. traumalin
 - e. etilen
12. Agar buah cepat masak, para pedagang sering menggunakan
 - a. traumalin
 - b. sitokinin
 - c. giberelin
 - d. etilen
 - e. absisat
13. Pada embrio biji terdapat calon akar yang disebut dengan
 - a. radikula
 - b. aleuron
 - c. kaulikulus
 - d. epikotil
 - e. hipokotil
14. Tanaman yang mengalami perkecambahan epigeal adalah
 - a. kacang kapri dan kacang tanah
 - b. kacang hijau dan kacang kapri
 - c. kapas dan jagung
 - d. jagung dan kacang kapri
 - e. kacang tanah dan jagung
15. Yang termasuk unsur mikro (mikronutrien) adalah
 - a. karbon
 - b. fosfor
 - c. mangan
 - d. kalium
 - e. hidrogen
16. Pada daerah diferensiasi, terdapat sistem jaringan hasil dari sel-sel meristem disebut dengan meristem dasar yang akan menjadi
 - a. epidermis
 - b. xilem
 - c. floem
 - d. jaringan dasar
 - e. stele
17. Pada pertumbuhan sekunder batang, jaringan gabus akan membentuk celah-celah gabus yang disebut
 - a. felem
 - b. feloderm
 - c. felogen
 - d. korteks
 - e. lentisel
18. Hormon kalin yang berperan dalam membentuk organ tumbuhan berupa bunga disebut
 - a. antokalin
 - b. filokalin
 - c. ABA
 - d. kaulokalin
 - e. rizokalin
19. Salah satu peran dari asam absisat adalah
 - a. mempercepat pemasakan buah
 - b. merangsang penutupan stomata (mulut daun)
 - c. mempercepat munculnya bunga
 - d. merangsang proses pembentukan biji
 - e. menyebabkan partenokarpi
20. Berikut ini yang merupakan langkah-langkah dalam metode ilmiah adalah
 - a. menemukan masalah
 - b. merumuskan masalah
 - c. menetapkan judul penelitian
 - d. menyusun kesimpulan
 - e. semuanya benar

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. Untuk memacu pertumbuhan tunas samping, dilakukan pemotongan tunas pucuk. Jelaskan.
2. Jelaskan pengaruh cahaya terhadap pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.

3. Kelembaban udara dan kelembaban tanah memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Jelaskan.
4. Apa yang kalian ketahui tentang lingkaran tahun. Jelaskan.
5. Perkecambahan dibedakan menjadi perkecambahan hipogeal dan epigeal. Jelaskan dan berikan contoh masing-masing.
6. Sebutkan peranan hormon auksin.
7. Jelaskan dan berilah contoh tumbuhan hari pendek dan tumbuhan hari panjang.
8. Apa yang kalian ketahui tentang felem dan feloderm?
9. Sebutkan dan jelaskan tiga sistem jaringan pada daerah diferensiasi akar.
10. Seorang siswa melihat kenyataan bahwa tanaman pisangny tidak mau tumbuh di pekarangannya. Diketahui pekarangannya merupakan tampungan pupuk kandang sejak tiga tahun yang lalu.
 - a. Rumuskan masalah yang berpeluang untuk dicari jawabannya lewat penelitian.
 - b. Tetapkan judul penelitiannya.
 - c. Tentukan variabel-variabel penelitiannya.

B a b II

Metabolisme



dok. PIM

Aktivitas kehidupan seperti berolah raga, berpikir, berjalan, berlari, tertawa, tidur, atau bekerja memerlukan energi. Energi tersebut diperoleh dari hasil penguraian makanan yang dicerna. Proses penguraian zat makanan ini disebut katabolisme. Baik tumbuhan, hewan, maupun manusia memerlukan proses tersebut untuk melangsungkan kehidupannya. Proses fotosintesis pada tumbuhan hijau menghasilkan suatu senyawa organik sebagai sumber energi kimia. Proses penyusunan energi ini disebut anabolisme. Katabolisme dan anabolisme itulah yang disebut metabolisme. Nah, kalian perlu mengetahui proses-proses yang terjadi selama metabolisme tersebut. Mari pelajari bersama.

Kata Kunci

- Metabolisme
- Katabolisme
- Anabolisme
- Enzim
- Respirasi
- Fotosintesis
- Kemosintesis

Kilas

Pada bab sistem pencernaan yang telah kalian pelajari di kelas XI, makanan yang masuk ke dalam organ pencernaan dicerna secara kimia dan secara fisika. Pencernaan makanan secara kimia dilakukan oleh enzim-enzim pencernaan seperti enzim amilase, protase, lipase, tripsin maupun pepsin.

Galeri

Sejarah Enzim

Tahukah kalian, kapan istilah enzim dipakai oleh orang? Pada awalnya, Kuhne (1878) memberi nama zat yang berperan dalam proses perubahan atau pembongkaran dan penyusunan yaitu ferment atau enzim. Enzim dari kata "in" dan "zyme" yang artinya sesuai yang ada di dalam ragi. Buchner (1896), memberi nama zat yang diperoleh dari sel-sel ragi yang telah dihancurkan yaitu zimase karena zat itu berasal dari ragi (*zyme*). Pada tahun 1926, Sumner berhasil memisahkan enzim dari biji polong-polongan tumbuhan *Canavalia ensiformis* dalam bentuk kristal. Setelah itu, berhasil dipisahkan beberapa enzim seperti katalase, papain, tripsin, dan pepsin. Semuanya dalam bentuk kristal.

suharjawanasuria.tripod.com

Pada bab berikut, kalian akan mempelajari enzim pada proses metabolisme (katabolisme dan anabolisme). Kalian juga akan mempelajari katabolisme karbohidrat, lemak, dan protein, serta hubungan katabolisme ketiga molekul tersebut.

Selanjutnya, kalian diharapkan dapat menjelaskan pengertian metabolisme, menemukan faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim, dan proses respirasi sel. Selain itu kalian diharapkan dapat menjelaskan tahapan masuknya senyawa sederhana terhadap siklus glikolisis.

A. Enzim pada Proses Metabolisme

Kalian telah mengetahui sekelumit tentang metabolisme, bukan? **Metabolisme** (dari bahasa Yunani, *metabole* = 'berubah'), merupakan suatu rangkaian atau proses yang terarah dan teratur di dalam sel tubuh melalui reaksi-reaksi kimiawi, sehingga diperlukan atau dihasilkan bahan-bahan tertentu seperti unsur, molekul, senyawa, atau energi.

Berdasarkan proses dan hasilnya, metabolisme dibedakan menjadi dua yaitu katabolisme dan anabolisme. Sebagaimana telah kalian ketahui bahwa **katabolisme** adalah proses perombakan senyawa-senyawa yang kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana melalui reaksi-reaksi kimiawi, sehingga dihasilkan energi. Sementara itu, **anabolisme** adalah proses pembentukan senyawa-senyawa kompleks dari senyawa-senyawa yang lebih sederhana melalui reaksi-reaksi kimiawi sehingga diperlukan adanya energi.

Selanjutnya, tahukah kalian apakah enzim itu? **Enzim** merupakan senyawa organik yang tersusun oleh protein (spesialisasi protein) untuk menjalankan proses-proses biokimiawi dalam sistem hayati. Dengan demikian, reaksi kimia yang terjadi di dalam tubuh, baik anabolisme maupun katabolisme selalu melibatkan enzim. Komponen-komponen, fungsi, cara kerja, sifat-sifat, faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim, penamaan dan pengelompokan enzim, serta bagaimana pembentukan enzim akan kalian pelajari pada materi berikut.

1. Komponen-komponen Enzim

Sebagian besar enzim tersusun oleh dua bagian, yaitu bagian yang berupa protein, disebut **apoenzim** dan bagian non protein yang disebut **kofaktor**. Ada juga beberapa enzim yang hanya terdiri dari komponen protein saja. Kofaktor dapat berupa molekul anorganik maupun molekul organik. Molekul anorganik berupa mineral seperti ion Fe, ion Zn, dan ion Mn. Molekul organik misalnya NAD^+ , vitamin B1, B2, B6, niasin, dan biotin. Kofaktor yang berupa molekul organik disebut **koenzim**, sedangkan kofaktor yang berupa molekul anorganik disebut **gugus prostetik**. Apoenzim dan koenzim yang bersatu membentuk enzim yang lengkap, disebut **holoenzim**. Perhatikan Gambar 2.2. dan 2.3.

2. Fungsi dan Cara Kerja Enzim

Di dalam reaksi kimia, antara suatu bahan (zat, unsur, molekul atau senyawa) yang satu dapat mengadakan reaksi dengan bahan (zat, unsur, molekul atau senyawa) yang lain sehingga dihasilkan suatu senyawa yang baru. Hal tersebut terjadi di dalam proses metabolisme, sehingga dihasilkan bahan yang diperlukan untuk tubuh. Nah, dalam proses metabolisme tersebut, tentunya diperlukan waktu tertentu untuk dapat mengubah bahan baku menjadi bahan yang baru (produk).



Selama terjadi reaksi kimia tersebut, diperlukan adanya suatu bahan yang berperan dalam mengatur waktu untuk terjadinya reaksi yaitu enzim. Enzim tersebut diperlukan untuk mempercepat terjadinya reaksi kimia (katalis), sehingga enzim disebut sebagai **katalisator**. Enzim yang berperan untuk mempercepat reaksi kimia dalam metabolisme suatu sistem hayati atau organisme disebut sebagai **biokatalisator**. Molekul-molekul yang dikatalis oleh enzim dinamakan **substrat**.

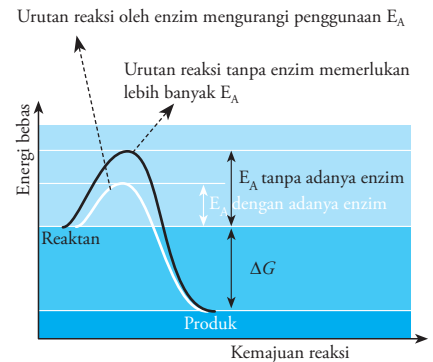
Reaktan memerlukan energi (panas) untuk memutuskan ikatan-ikatan antar atomnya, sehingga atom-atom tersebut dapat membentuk ikatan baru (produk). Energi bebas yang diperlukan untuk memutuskan ikatan ini disebut **energi aktivasi** (E_A), sedangkan perbedaan antara energi bebas produk dengan energi bebas reaktan disimbolkan dengan ΔG .

Reaksi kimia yang dikatalis oleh enzim, menunjukkan bahwa reaksi tersebut membutuhkan energi untuk reaksi lebih sedikit dibanding reaksi yang tidak dikatalis oleh enzim. Oleh karena itu, enzim berperan penting dalam menurunkan energi aktivasi untuk memulai suatu reaksi, sehingga reaksi dapat berjalan sangat cepat, efisien, dan tidak menimbulkan suhu yang tinggi. Perhatikan Gambar 2.1.

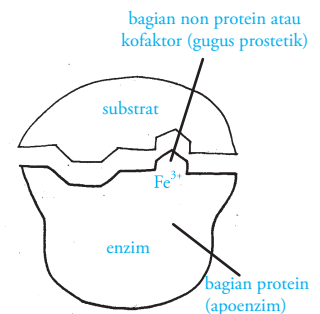
Setelah mengetahui fungsi enzim dalam metabolisme, tahukah kalian di mana enzim dihasilkan atau ditemukan?

Enzim dihasilkan di dalam sel dan dapat bekerja di dalam sel maupun di luar sel. Enzim yang bekerja di dalam sel disebut **enzim intraseluler**. Misalnya, enzim yang berfungsi menawarkan racun sel H_2O_2 (hidrogen peroksida) menjadi H_2 dan O_2 yang bersifat netral. Enzim pernafasan selalu terdapat dalam sel. Sementara itu, enzim yang bekerja di luar sel disebut **enzim ekstraseluler**, yaitu enzim-enzim pencernaan. Sebagian besar enzim terdapat pada protoplasma sel. Namun, pada sel tertentu enzim ditemukan di dalam vakuola dan dinding sel.

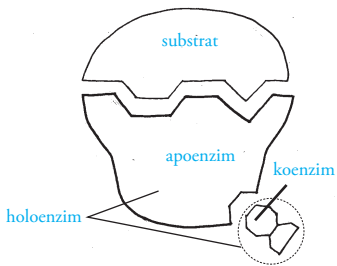
Selanjutnya, bagaimanakah enzim bekerja? Ada dua teori yang menjelaskan kerja enzim tersebut, yaitu:



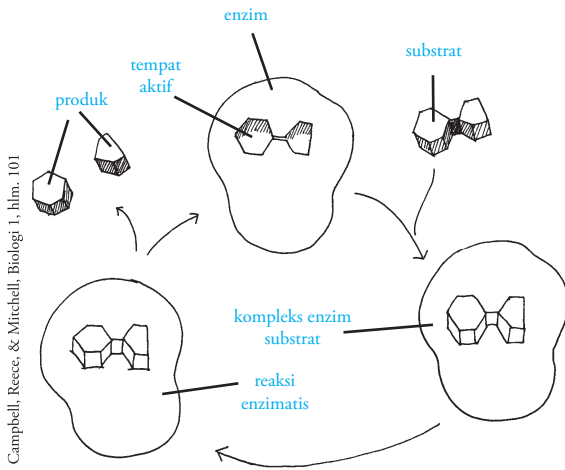
Gambar 2.1 Penurunan energi aktivasi oleh enzim.



Gambar 2.2 Enzim yang terdiri atas bagian protein (apoenzim) dan bagian non protein (gugus prostetik)



Gambar 2.3 Apoenzim dan koenzim bersatu membentuk holoenzim.



Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 1, hlm. 101

Gambar 2.4 Prinsip kerja enzim menurut teori gembok-kunci.

a. Model Gembok – Kunci (*Lock and Key*)

Dari nama teorinya, kalian tentu dapat membayangkan bentuk antara kunci dan gembok pintu rumah kalian. Teori ini dikemukakan oleh seorang ahli yang bernama Fisher. Menurutnya, enzim bagaikan sebuah gembok, memiliki bagian yang berhubungan dengan kunci yang disebut lubang kunci. Bagian lubang kunci ini diibaratkan sebagai sisi aktif enzim, yaitu suatu tempat yang spesifik untuk mengikat substratnya. Substrat digambarkan sebagai sebuah kunci. Mata kunci memiliki struktur yang khas dan cocok dengan struktur lubang kunci pada gembok. Kunci tertentu hanya cocok dengan gembok tertentu, artinya enzim tertentu hanya bekerja pada substrat tertentu. Apabila sisi aktif bergabung dengan substrat maka enzim tidak aktif lagi. Bergabungnya enzim dengan substrat membentuk kompleks enzim substrat. Kompleks enzim substrat digambarkan sebagai gembok dimana pada lubang kuncinya terdapat kunci. Setelah reaksi berlangsung, kompleks enzim substrat lepas dan terbentuklah produk.

Pada sistem kerja enzim, enzim tidak pernah ikut bereaksi karena setelah terbentuk produk, enzim akan terlepas dan dapat menjalankan fungsi enzim untuk berikatan dengan substrat lain yang sesuai. Artinya, enzim tidak akan diubah menjadi produk atau enzim hanya berperan sebagai perantara dalam membentuk produk.

Produk tersebut berasal dari substrat yang telah bereaksi. Perhatikan Gambar 2.4.

Berikut adalah persamaan reaksi enzimatis sederhana:



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

Teori ini menyatakan bahwa enzim memiliki sisi aktif yang mudah menyesuaikan dengan bentuk substratnya. Dengan kata lain, bentuk sisi aktif enzim bersifat fleksibel. Pada saat substrat bertemu dengan enzim, maka sisi aktif enzim berubah sedemikian rupa sehingga cocok dengan substrat dan terbentuklah kompleks enzim substrat. Setelah terjadi reaksi dan produk telah terbentuk, enzim akan lepas. Pada saat ini tidak menutup kemungkinan, substrat lain bergabung dengan enzim. Pada saat ini pula enzim tidak aktif lagi. Perhatikan Gambar 2.5.

Setelah kalian mengetahui komponen penyusun enzim serta fungsi dan peran enzim, kalian akan mempelajari tentang sifat-sifat enzim berikut ini.

3. Sifat-sifat Enzim

Setiap struktur (senyawa maupun molekul tertentu) yang berbeda, selalu mempunyai sifat-sifat khas masing-masing. Sebelumnya, kalian telah mengetahui bahwa enzim sebagai biokatalisator. Selama menjalankan fungsinya tersebut, enzim memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

a. Enzim sebagai biokatalisator suatu reaksi

Biokatalisator merupakan salah satu sifat spesifik dari enzim. Artinya, enzim dapat mempercepat suatu reaksi namun tidak ikut bereaksi. Contoh: saat amilase mempercepat reaksi perombakan amilum, amilase tidak bereaksi dengan substrat menjadi bentuk lain (bentuknya tetap), sehingga amilase dapat berfungsi kembali.

b. Enzim bekerja secara khusus

Reaksi kimia yang ada di dalam sel banyak sekali, bukan? Kemudian, bagaimana dengan enzim? Enzim bersifat sangat spesifik, artinya enzim hanya bekerja pada substrat tertentu saja, tidak dapat untuk sembarang substrat. Enzim tertentu hanya mengkatalis reaksi kimia tertentu pula. Contoh: enzim *ptialin* mengkatalis reaksi pengubahan zat tepung menjadi maltosa. Dengan demikian, enzim *ptialin* hanya bekerja pada substrat zat tepung (amilum). Enzim *katalase* bekerja pada substrat H_2O_2 (hidrogen peroksida). H_2O_2 diuraikan oleh katalase menjadi H_2 dan O_2 (produk).

c. Enzim dapat bekerja secara bolak balik (reversibel)

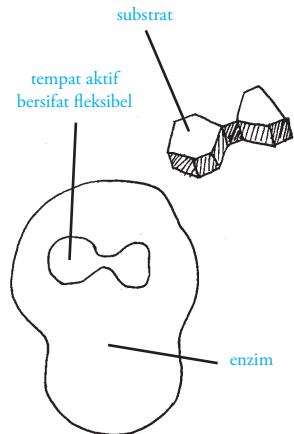
Sebagian besar reaksi kimia dalam tubuh organisme (biokimiawi) bersifat **reversibel**. Demikian juga kerja enzim sebagai biokatalisator. Artinya, enzim dapat mengkatalis reaksi maju maupun reaksi kebalikannya. Dengan demikian, enzim tidak mempengaruhi arah suatu reaksi. Enzim dapat membentuk senyawa baru maupun menguraikan suatu senyawa baru tersebut menjadi senyawa lain. Contoh: enzim *lipase* mengubah gliserol dan asam lemak menjadi lemak. Enzim lipase juga dapat mengubah lemak menjadi gliserol dan asam lemak.

d. Wujud enzim adalah koloid

Kalian telah mengetahui komponen enzim, bukan? Secara keseluruhan, enzim merupakan protein. Oleh karena itu, enzim dapat membentuk koloid.

e. Enzim rusak jika kena panas

Komponen protein penyusun enzim akan sangat menentukan sifat enzim. Salah satu sifat dari protein adalah tidak tahan terhadap panas (**termolabil**). Apoenzim bersifat termolabil. Oleh karena itu, enzim akan rusak jika terkena panas atau suhu yang tinggi. Kerusakan enzim akibat suhu tersebut dinamakan **denaturasi**. Pada suhu di atas $50^\circ C$, enzim akan mengalami denaturasi. Enzim yang telah rusak menyebabkan aktivitas atau fungsi enzim hilang. Denaturasi bersifat **irreversibel**. Walaupun suhunya diturunkan atau dinormalkan, enzim yang rusak tidak akan dapat berfungsi kembali.



Gambar 2.5 Prinsip kerja enzim menurut teori ketepatan induksi.

f. Enzim dapat diekstraksi dari sel tanpa kehilangan aktivitas katalitiknya

Struktur dan mekanisme kerja enzim yang terdapat di dalam sel dapat dipelajari secara mendalam melalui suatu teknik khusus. Enzim yang akan dipelajari tersebut dapat diekstraksi dari sel yang memproduksinya tanpa kehilangan aktivitas katalitiknya.

Apakah setiap enzim selalu melakukan fungsinya secara lancar tanpa ada yang menghalanginya? Nah, untuk mengetahui jawaban tersebut secara lengkap, simaklah uraian berikut.

4. Penghambat Kerja Enzim

Kerja suatu enzim selama metabolisme tidak selalu berjalan lancar tanpa ada yang menghalanginya. Suatu zat tertentu yang dapat menghalangi kerja enzim ini disebut **inhibitor**. Zat-zat penghambat (inhibitor) berupa zat-zat kimia yang dapat menghambat kerja enzim. Contoh: garam-garam logam berat seperti air raksa, iodium-asetat, fluorida, sianida, azida, dan karbon monoksida.

Nah, sebelum kalian mempelajari lebih lanjut tentang inhibitor tersebut, ikutilah rubrik *Diskusi* berikut ini.

Diskusi

Menurut kalian, apa yang dapat dimanfaatkan (diimplementasikan) dari konsep inhibitor tersebut dalam metabolisme? Berikan contoh pemanfaatannya, terutama dalam bidang kedokteran atau kesehatan. Carilah literatur yang mendukung. Diskusikan dan presentasikan jawaban dan penjelasan kalian di depan guru atau kelompok kalian!

Inhibitor dibedakan menjadi inhibitor reversibel dan inhibitor irreversibel. Inhibitor reversibel meliputi inhibitor kompetitif dan inhibitor non kompetitif.

a. Inhibitor kompetitif

Zat penghambat ini mempunyai struktur yang mirip dengan substrat. Oleh karena itu, zat penghambat dan substrat bersaing untuk dapat bergabung dengan enzim membentuk kompleks enzim-substrat. Selain menghambat ikatan antara enzim dengan substrat, inhibitor dapat menghambat penguraian dan pembentukan senyawa baru. Inhibitor berikatan lemah (ikatan ion) dengan enzim pada sisi aktifnya sehingga inhibitor ini bersifat reversibel. Dengan menambah kepekatan substrat, inhibitor tidak mampu lagi bergabung dengan enzim. Contoh inhibitor kompetitif yaitu asam malonat, yang menghambat ikatan antara enzim dengan asam suksinat. Perhatikan Gambar 2.6(c).

b. Inhibitor non-kompetitif

Pada umumnya, inhibitor ini tidak memiliki struktur yang mirip dengan substrat dan bergabung dengan enzim pada bagian selain sisi aktif enzim. Jika inhibitor ini bergabung dengan enzim maka akan mengubah

bentuk sisi aktif enzim. Dengan demikian, bentuk sisi aktif tidak sesuai lagi dengan bentuk substrat (ingat model kerja enzim teori gembok–kunci). Contoh inhibitor non-kompetitif, antara lain: pestisida (DDT) dan paration yang menghambat kerja enzim dalam sistem syaraf, serta antibiotik dan penisilin pada sel bakteri. Perhatikan Gambar 2.6(b).

Berbeda dengan dua macam inhibitor yang lain, inhibitor irreversibel melekat pada sisi aktif enzim dengan sangat kuat (ikatan kovalen) sehingga tidak dapat lepas dari enzim (irreversibel). Akibatnya, enzim menjadi tidak aktif.

Selanjutnya, apakah hanya inhibitor saja yang dapat mempengaruhi kerja enzim? Berikut kalian akan mempelajari faktor-faktor yang memengaruhi kerja enzim tersebut.

5. Faktor yang Memengaruhi Kerja Enzim

Selain adanya zat penghambat (inhibitor), kerja enzim dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: adanya zat pengaktif (aktivator), suhu, hasil akhir, pH, konsentrasi enzim atau substrat, dan air. Secara rinci dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Zat-zat pengaktif (aktivator)

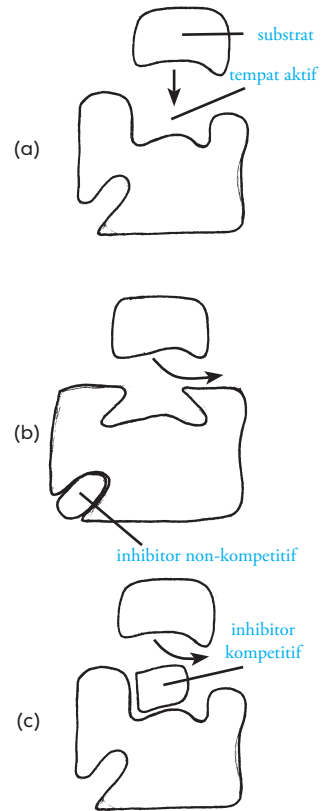
Zat-zat kimia tertentu dapat memacu atau mengaktifkan kegiatan enzim. Contoh: garam-garam dari logam alkali dan logam alkali tanah dengan konsentrasi encer, ion kobalt (Co), mangan (Mn), nikel (Ni), magnesium (Mg), dan klor (Cl).

b. Suhu

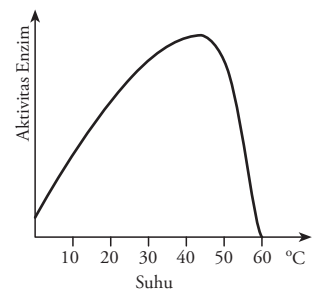
Setiap enzim dapat bekerja dengan efektif pada suhu tertentu dan aktivitasnya akan berkurang jika berada pada kondisi di bawah atau di atas titik tersebut. Kondisi yang menyebabkan kerja enzim menjadi efektif ini disebut kondisi optimal. Sebagian besar enzim pada manusia mempunyai suhu optimal yang mendekati suhu tubuh ($35^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$). Pada suhu tinggi ($>50^{\circ}\text{C}$), enzim dapat rusak dan pada suhu rendah (0°C), enzim menjadi tidak aktif. Perhatikan Gambar 2.7. Suhu yang tidak sesuai tersebut akan menyebabkan terjadinya perubahan bentuk sisi aktif enzim. Sifat enzim yang tidak tahan panas atau dapat berubah karena pengaruh suhu ini disebut **termolabil**.

c. pH

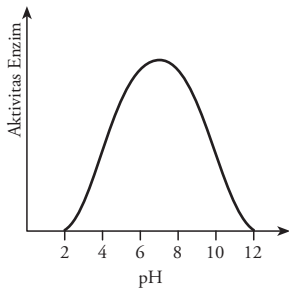
Selain suhu, faktor lingkungan yang mempengaruhi kerja enzim adalah derajat keasaman (pH). Sebagaimana faktor suhu, enzim juga mempunyai pH tertentu agar dapat bekerja secara efektif. Enzim dapat bekerja optimal pada pH netral ($\text{pH} = 7$), pH basa (>7) atau pH asam (<7) tergantung pada jenis enzim masing-masing. Perhatikan Gambar 2.8. Enzim pencernaan protein misalnya, mempunyai pH paling optimal 1-2, sedangkan enzim pencernaan yang lain mempunyai pH optimal 8. Pada pH tertentu, enzim dapat mengubah substrat menjadi hasil akhir. Kemudian, apabila pH tersebut diubah, enzim dapat mengubah kembali hasil akhir menjadi substrat.



Gambar 2.6 (a) Bentuk substrat dan enzim normal, (b) Inhibitor non-kompetitif, dan (c) Inhibitor kompetitif.



Gambar 2.7 Grafik pengaruh suhu terhadap aktivitas enzim.



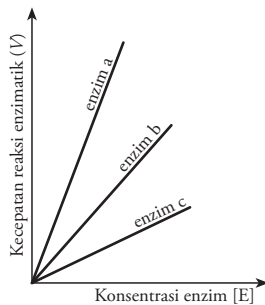
Gambar 2.8 Grafik pengaruh pH terhadap aktivitas satu jenis enzim

d. Hasil akhir

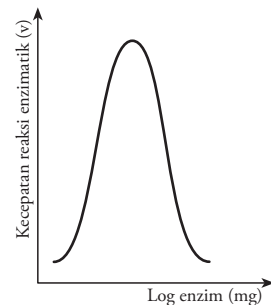
Kalian telah mengetahui bahwa dalam suatu reaksi kimia diperlukan adanya reaktan yang akan diubah menjadi produk atau hasil akhir. Hasil akhir merupakan senyawa baru sebagai hasil pembentukan maupun penguraian reaktan. Apabila hasil akhir ini banyak, enzim akan sulit bergabung dengan substrat sehingga reaksi kimianya berlangsung lambat.

e. Konsentrasi enzim

Konsentrasi enzim yang tinggi akan mempengaruhi kecepatan reaksi secara linear (kecepatan bertambah secara konstan). Dapat dikatakan bahwa hubungan antara konsentrasi enzim dengan kecepatan reaksi enzimatis berbanding lurus. Kecepatan reaksi suatu enzim satu dengan yang lain berbeda-beda meskipun mempunyai konsentrasi enzim yang sama. Konsentrasi enzim yang sangat tinggi dalam suatu sistem yang kompleks akan berpengaruh terhadap kecepatan reaksi.



Gambar 2.9 Hubungan laju reaksi dengan konsentrasi beberapa enzim.



Gambar 2.10 Hubungan V dengan $[E]$ sangat tinggi pada sistem yang kompleks.

f. Konsentrasi substrat

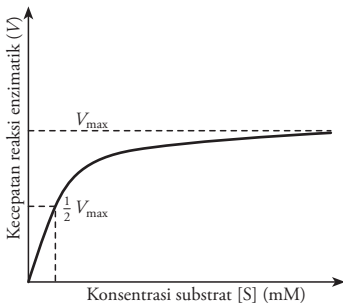
Pada konsentrasi substrat yang rendah, kenaikan substrat akan meningkatkan kecepatan reaksi enzimatis hampir secara linear. Jika konsentrasi substrat tinggi, maka peningkatan kecepatan reaksi enzimatis akan semakin menurun sejalan dengan peningkatan jumlah substratnya. Kecepatan maksimum (V_{max}) reaksi enzimatis ditunjukkan dengan garis mendatar yang menggambarkan peningkatan kecepatan reaksi yang rendah seiring penambahan konsentrasi substrat.

g. Air

Menurut penelitian, di dalam biji terdapat bermacam-macam enzim. Masih ingatkah kalian dengan perkecambahan biji? Ya, pada proses perkecambahan, imbibisi air pada biji yang sehat dan telah tua akan mengaktifkan enzim-enzim dalam biji sehingga biji berkecambah.

6. Penamaan dan Pengelompokan Enzim

Nama suatu enzim biasanya dengan menggunakan akhiran ase. Akhiran ase ditambahkan pada nama substrat yang diubah oleh enzim



Gambar 2.11 Hubungan $[S]$ dengan V .

tersebut. Contoh: enzim yang merubah substrat maltosa disebut maltase, yang merubah protein disebut protease, yang merubah lipida (lemak) disebut lipase.

Enzim digolongkan berdasarkan apa yang terjadi di dalam reaksi. Agar lebih jelas, perhatikan Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Penggolongan dan fungsi enzim

No	Golongan enzim	Fungsi atau sifat
1	Oksidoreduktase	Mengkatalisis reaksi dimana salah satu substrat mengalami oksidasi (donor hidrogen) dan substrat lain mengalami reduksi (penerima hidrogen).
	a. Dehidrogenase	Mengubah ikatan tunggal menjadi ikatan rangkap.
	b. Oksidase	Melakukan oksidasi (menerima oksigen atau melepas elektron).
	c. Hidroksilase	Menggabungkan gugus hidroksil.
2	Transferase	Mengkatalisis perpindahan 1 gugus karbon (misalnya metil), gugus aldehid, keton, gugus fosforil, atau gugus amino dari satu substrat ke substrat yang lain.
3	Hidrolase	Mengkatalisis hidrolisis (penambahan air) untuk memecah ikatan kovalen C-O, C-N, C-C, P-O, dan ikatan tunggal lainnya.
	a. Peptidase	Memecah ikatan peptida pada protein.
	b. Esterase	Memecah ikatan ester.
	c. Glikosidase	Memecah ikatan glikosida pada polisakarida.
	d. Fosfatase	Memecah ikatan fosfat.
4	Liase	Mengkatalisis penambahan gugus pada ikatan rangkap atau pembentukan ikatan rangkap dengan menghilangkan gugus C=C, C=O, atau C=N. Misalnya: dekarboksilase, aldolase, dan dehidratase.
5	Ligase	Mengkatalisis reaksi penggabungan antara satu molekul dengan molekul lain melibatkan hidrolisis dari ATP. Misalnya: RNA ligase dan DNA ligase.
6	Isomerase	Mengkatalisis perpindahan suatu gugus ke tempat lain dalam satu molekul. Misalnya: racemase, fosfoglukoisomerase, mutase, dan oksidoreduktase.

Prastiwi, Biokimia

7. Pembentukan Enzim

Menurut hasil penelitian **Beadle dan Tatum**, pembentukan enzim berdasarkan pada teori “*one gene one enzyme*”. Artinya, pembentukan satu enzim dikendalikan oleh satu gen. Oleh karena itu, gen atau kelompok gen dalam kromosom akan mengendalikan pembentukan enzim.

Setelah kalian mempelajari tentang enzim, ikutilah rubrik *Percobaan* dan *Uji Kompetensi* berikut ini agar kalian benar-benar memahami tentang enzim.

Percobaan

Mengetahui Kerja Enzim Katalase

A. Dasar Teori

Enzim dihasilkan di dalam sel dan dapat bekerja di dalam sel (enzim intraseluler) maupun di luar sel (enzim ekstraseluler). Contoh enzim intraseluler adalah enzim katalase yang berfungsi menawarkan racun sel H_2O_2 (hidrogen peroksida) menjadi H_2 dan O_2 yang bersifat netral. Enzim katalase tersebut terdapat pada organ hati maupun organ jantung.

B. Tujuan

Mengetahui dan mempelajari kerja enzim katalase

C. Alat dan Bahan

- | | |
|--------------------------------|----------------------|
| 1. Mortir atau blender | 6. HCL 10% |
| 2. Organ hati dan jantung ayam | 7. NaOH 10% |
| 3. Dua belas tabung reaksi | 8. Es batu |
| 4. Air | 9. H_2O_2 10% |
| 5. Kapas | 10. Arang (bara api) |

D. Cara Kerja

1. Haluskan organ hati dan jantung ayam dengan mortir atau blender. Tambahkan 30 ml air untuk hati dan 10 ml untuk jantung, kemudian saringlah menggunakan kapas. Hasil yang kalian peroleh sebagai ekstrak hati dan ekstrak jantung.
2. Bagilah ekstrak hati ke dalam 5 buah tabung reaksi dengan volume yang sama (nomorilah tabung tersebut). Tuangkan ekstrak jantung pada tabung 6.
3. Tambahkan 7 tetes HCL 10% ke dalam tabung 2 dan 7 tetes NaOH 10% ke dalam tabung 4.
4. Masukkan tabung 4 ke dalam es batu dan tabung 5 ke dalam air mendidih selama 10 menit.
4. Berilah label a, b, c, d, e, dan f pada 6 tabung reaksi yang lain. Masukkan 3 ml H_2O_2 10% pada masing-masing tabung. Tutuplah rapat-rapat dengan kapas.
5. Tuangkan isi tabung 1 ke dalam tabung a. Demikian juga isi tabung 2 ke dalam tabung b, tabung 3 ke dalam tabung c, dan seterusnya.
6. Amati jumlah gelembungnya (amat banyak, banyak, sedang, sedikit, atau tidak ada). Masukkan bara api di atas campuran, jangan sampai menyentuh campuran. Amati apakah bara api menyala?
7. Catat hasilnya pada tabel pengamatan.

E. Pembahasan

1. Tuliskan reaksi yang terjadi.
2. Pada percobaan tersebut, substratnya adalah
Enzim katalase pada percobaan ini terdapat pada
3. Pada tabung yang manakah dihasilkan gelembung paling banyak? Apa maksudnya?
4. Pada tabung yang manakah tidak dihasilkan gelembung dan manakah gelembung yang paling sedikit? Apa artinya?
5. Buatlah kesimpulan percobaanmu.

Catatan dan Perhatian:

- a. Usahakan proses penuangan tiap tabung dilakukan bersama-sama, sehingga kalian dapat membandingkannya.
- b. Hati-hatilah menggunakan larutan asam HCL dan NaOH

Uji Kompetensi

Kerjakanlah soal-soal berikut ini!

1. Apa yang dimaksud dengan:
 - a. metabolisme
 - b. katabolisme
 - c. anabolisme

2. Jelaskan fungsi enzim dalam metabolisme?
3. Sebutkan dan jelaskan 6 sifat-sifat enzim.
4. Sebutkan 7 macam hal yang dapat mempengaruhi kerja enzim?
5. Jelaskan tentang cara penamaan enzim.
6. Sebutkan dan berilah contoh pengelompokan enzim berdasarkan terjadinya reaksi.
7. Jelaskan tentang teori *one gen one enzyme*.

Setelah mengikuti rubrik *Percobaan* dan *Uji Kompetensi*, tentunya kalian telah memahami tentang enzim, bukan? Selanjutnya, kalian akan mempelajari lebih jauh tentang katabolisme dan anabolisme. Simaklah dengan saksama.

B. Katabolisme Karbohidrat, Lemak, dan Protein

Pada sub bab sebelumnya, kalian telah mengetahui bahwa pada makanan yang kalian konsumsi tersimpan energi atau tenaga yang diperlukan untuk aktivitas kehidupan. Selanjutnya, bagaimana energi tersebut terbentuk dari makanan atau senyawa organik yang masuk ke dalam tubuh kita? Pada umumnya, sebelum senyawa organik diubah menjadi energi, senyawa-senyawa tersebut (mempunyai banyak atom karbon) dipecah atau diuraikan menjadi senyawa-senyawa berukuran kecil atau sederhana (mempunyai 2-4 atom karbon) melalui proses katabolisme.

Senyawa atau zat yang kompleks terurai menjadi senyawa atau zat yang sederhana dengan melepaskan ikatan-ikatan kimia yang menyusun suatu senyawa. Bersamaan dengan lepasnya ikatan kimia, dibebaskanlah energi. Energi yang dibebaskan ini kemudian diubah menjadi senyawa yang siap digunakan sebagai sumber energi bagi sel yaitu *adenosin trifosfat* (ATP). Senyawa ATP memiliki gugus fosfat sebanyak 3 buah. Setiap melepaskan fosfatnya, akan dibebaskan energi yang langsung dapat digunakan oleh sel. Oleh karena itu, katabolisme disebut juga **disimilasi** atau **bioenergi** atau **reaksi eksergonik**. Di dalam katabolisme sel organisme, terjadi proses oksidasi atau reduksi senyawa (biooksidasi).

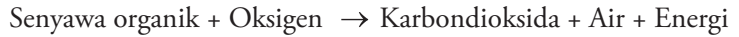
Kalian telah mengetahui bahwa bahan makanan yang kalian konsumsi dapat mengandung karbohidrat, lemak, maupun protein (protein). Bagaimanakah katabolisme dari karbohidrat, lemak, dan protein tersebut? Untuk penjelasan lebih lanjut cermatilah uraian berikut ini.

1. Katabolisme Karbohidrat

Salah satu proses yang merupakan katabolisme adalah respirasi, merupakan reaksi kimia sel untuk merombak senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana dengan menghasilkan energi. Kegiatan respirasi dilakukan setiap saat oleh setiap sel hidup, baik sel tumbuhan maupun sel hewan. Berdasarkan kebutuhan akan oksigen atau penerima elektronnya, respirasi dibedakan menjadi dua macam yaitu **respirasi aerobik** dan **respirasi anaerobik**.

a. Respirasi Aerobik

Respirasi aerob adalah respirasi yang memerlukan oksigen bebas dari udara sebagai penerima elektron terakhir. Oksigen bebas ini digunakan untuk pembakaran bahan baku. Proses respirasi secara umum dapat kalian lihat sebagai berikut.



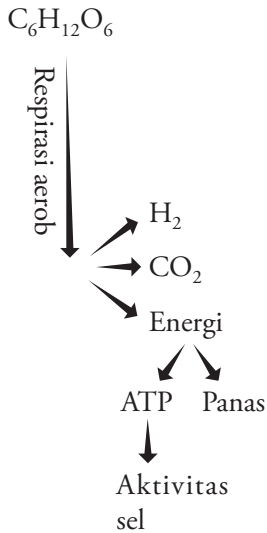
Apabila bahan baku respirasi aerob berupa glukosa (heksosa) maka reaksi keseluruhan respirasi adalah:



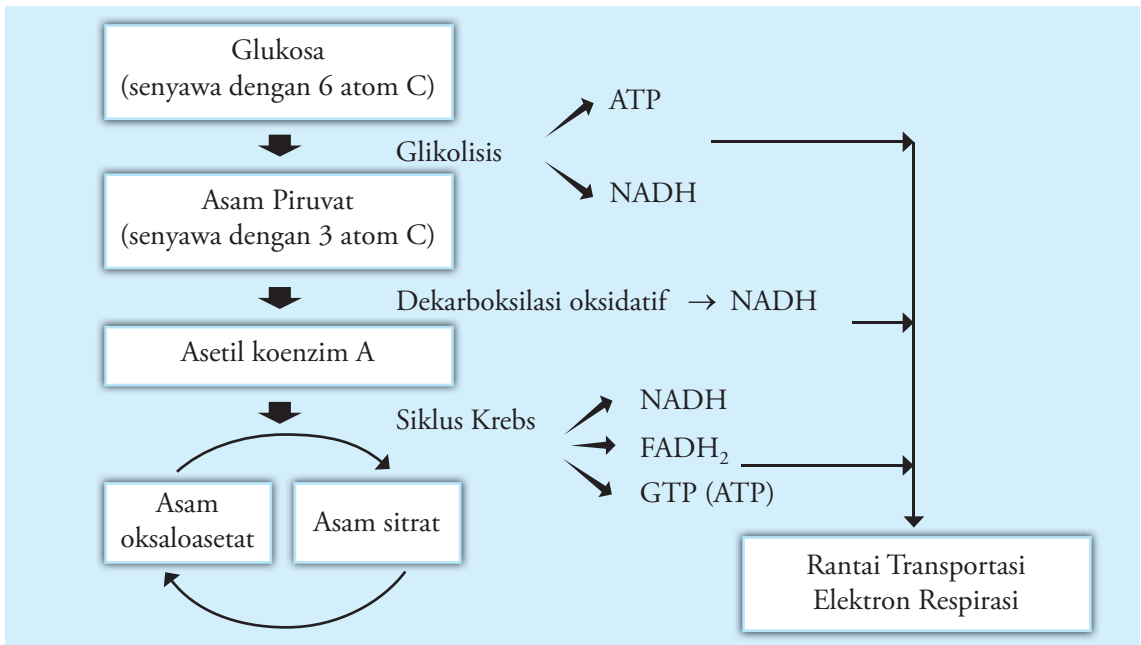
Dari reaksi di atas, terlihat bahwa respirasi aerob dengan bahan baku glukosa menghasilkan energi. Pada tumbuhan, energi yang dihasilkan sebagian berupa panas, sebagian lagi digunakan untuk aktivitas hidup tumbuhan itu sendiri seperti untuk proses pembentukan zat organik, untuk proses osmosis, untuk pengaliran protoplasma, atau untuk pembelahan sel. Penguraian heksosa juga menghasilkan CO₂ dan air (H₂O). Bagaimana hal ini dapat terjadi? Simaklah rangkaian respirasi aerob dengan bahan baku glukosa di bawah ini. Respirasi glukosa (termasuk karbohidrat) disebut juga **katabolisme karbohidrat**.

Secara umum, reaksi respirasi aerobik dibedakan menjadi tiga tahapan yaitu glikolisis, dekarboksilasi oksidatif dan daur Krebs, serta rantai transportasi elektron respirasi dengan fosforilasi oksidatif.

Cobalah perhatikan peta konsep berikut ini.



Gambar 2.12 Penggunaan energi hasil respirasi pada tumbuhan.



Gambar 2.13 Bagan respirasi aerob

Setelah kalian memahami peta konsep di atas, uraian berikut ini akan menjelaskan secara rinci untuk setiap tahapan respirasi.

1) Glikolisis

Glikolisis adalah rangkaian reaksi kimia penguraian glukosa (yang memiliki 6 atom C) menjadi asam piruvat (senyawa yang memiliki 3 atom C), NADH, dan ATP. NADH (Nikotinamida Adenina Dinukleotida Hidrogen) adalah koenzim yang mengikat elektron (H), sehingga disebut sumber elektron berenergi tinggi. ATP (adenosin trifosfat) merupakan senyawa berenergi tinggi. Setiap pelepasan gugus fosfatnya menghasilkan energi.

Pada proses glikolisis, setiap 1 molekul glukosa diubah menjadi 2 molekul asam piruvat, 2 NADH, dan 2 ATP.

Glikolisis memiliki sifat-sifat, antara lain: glikolisis dapat berlangsung secara aerob maupun anaerob, glikolisis melibatkan enzim ATP dan ADP, serta peranan ATP dan ADP pada glikolisis adalah memindahkan (mentransfer) fosfat dari molekul yang satu ke molekul yang lain.

Pada sel eukariotik, glikolisis terjadi di sitoplasma (sitosol). Glikolisis terjadi melalui 10 tahapan yang terdiri dari 5 tahapan penggunaan energi dan 5 tahapan pelepasan energi. Berikut ini reaksi glikolisis secara lengkap:

Dari skema tahapan glikolisis menunjukkan bahwa energi yang dibutuhkan pada tahap penggunaan energi adalah 2 ATP. Sementara itu, energi yang dihasilkan pada tahap pelepasan energi adalah 4 ATP dan 2 NADH. Dengan demikian, selisih energi atau hasil akhir glikolisis adalah 2 ATP + 2 NADH.

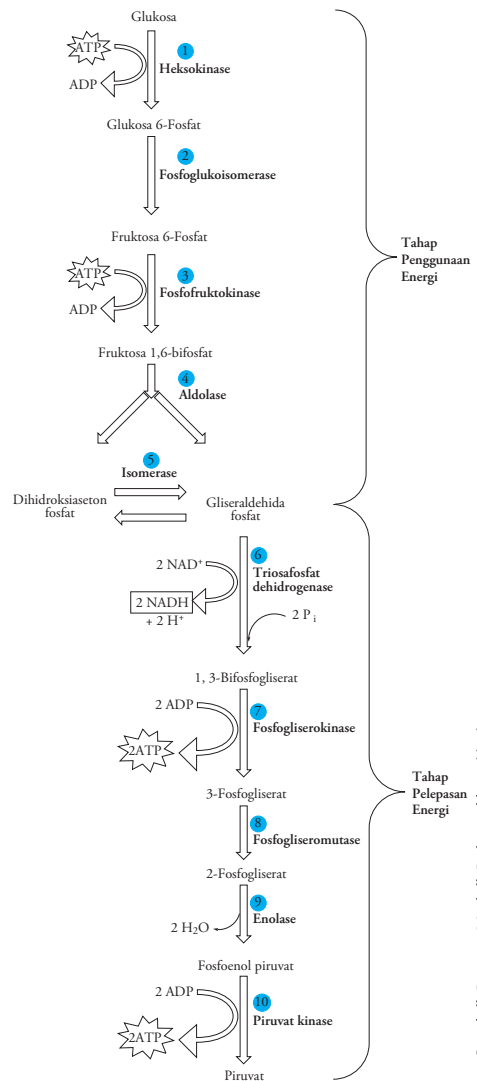
Keterangan:

a) Tahap penggunaan energi:

- (1) Penambahan gugus fosfat pada molekul glukosa dengan bantuan enzim heksokinase, sehingga terbentuk glukosa 6-fosfat.
- (2) Glukosa 6-fosfat diubah menjadi isomernya yaitu fruktosa 6-fosfat.
- (3) Fosfofruktokinase mentransfer gugus fosfat dari ATP ke fruktosa 6-fosfat fruktosa 1,6 bisfosfat.
- (4) Aldolase membagi molekul gula (fruktosa 1,6 bisfosfat) menjadi 2 molekul gula yang berbeda dan merupakan isomernya.
- (5) Dua molekul gliseraldehid postat masing-masing akan masuk pada tahapan glikolisis selanjutnya.

b) Tahap pelepasan energi:

- (6) Triosafosfat dehidrogenase mengkatalisis pemindahan elektron dan H^+ dari substrat (gliseraldehid fosfat) ke NAD^+ membentuk NADH.
- (7) Glikolisis menghasilkan ATP. Gula telah diubah menjadi senyawa asam organik oleh fosfoglisero kinase.
- (8) Gugus fosfat dipindahkan sehingga menjadi 2-fosfogliserasat oleh fosfoglisero mutase.
- (9) 2-fosfogliserasat melepaskan molekul H_2O sehingga terbentuk fosfoenol piruvat kinase oleh enolase.
- (10) Piruvat kinase mentransfer gugus fosfat sehingga menghasilkan 2 ATP lagi.

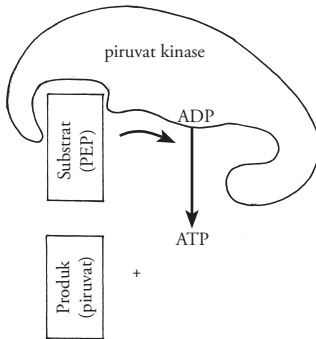


Gambar 2.14 Skema 10 tahapan glikolisis melalui tahap penggunaan energi dan pelepasan energi.

Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 1, hlm. 166-167

Jika kalian amati lebih cermat lagi, kalian akan mengetahui pada tahapan mana sajakah energi (ATP) dibentuk. Nah, proses pembentukan ATP inilah yang disebut **fosforilasi**. Pada tahapan glikolisis tersebut, enzim mentransfer gugus fosfat dari substrat (molekul organik dalam glikolisis) ke ADP sehingga prosesnya disebut **fosforilasi tingkat substrat**. Perhatikan Gambar 2.15.

Keseluruhan reaksi glikolisis, dapat dibuat persamaan reaksi sebagai berikut:



Gambar 2.15 Fosforilasi tingkat substrat (pada tahap ke-10 glikolisis).

Selain glukosa, bahan makanan yang kalian konsumsi tidak selalu mengandung gula sederhana seperti glukosa saja. Kadang-kadang kalian mengkonsumsi bahan-bahan yang mengandung gula kompleks (karbohidrat kompleks) seperti maltosa, laktosa, dan sukrosa. Kemudian, dapatkah gula-gula atau karbohidrat yang kompleks tersebut langsung dimetabolisme oleh sel? Tentu saja tidak, bahan-bahan yang belum sederhana tersebut harus dirombak dahulu sehingga menjadi bahan yang dapat dimetabolisme langsung oleh sel.

Kalian telah mempelajari tentang tahapan glikolisis. Agar kalian dapat memahami dengan baik, ikutilah rubrik *Telisik* berikut ini.

Telisik

Mengidentifikasi Enzim-enzim Glikolisis

Lakukanlah rubrik ini secara individu dan kerjakanlah di rumah kalian masing-masing dengan langkah sebagai berikut:

1. Pelajarilah kembali tentang penamaan dan penggolongan enzim pada sub bab Enzim.
2. Sebutkan macam-macam enzim yang terlibat dalam tahapan glikolisis.
3. Golongkanlah macam-macam enzim tersebut berdasarkan penggolongan enzim yang telah kalian pelajari pada sub bab Enzim.
4. Isikan hasil identifikasi kalian pada tabel sebagai berikut:

No	Nama enzim	Golongan enzim	Fungsi
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			

5. Kumpulkan hasilnya kepada guru kalian.

Nah, sebelum kalian mempelajari glikolisis selain pada glukosa, lakukan rubrik *Diskusi* berikut ini.

Diskusi

Diskusikanlah dengan teman kelompokmu, bagaimanakah penggolongan dari karbohidrat atau gula berdasarkan banyaknya molekul gula penyusunnya? Berilah contoh dari masing-masing golongan tersebut!

Bukankah kalian sudah mengetahui macam-macam gula? Maltosa, sukrosa, dan laktosa terlebih dahulu diubah menjadi monomer penyusunnya yaitu glukosa dan gula sederhana yang lain yaitu fruktosa atau galaktosa. Selanjutnya, glukosa atau gula-gula sederhana akan masuk siklus glikolisis seperti biasa. Glukosa akan diubah menjadi glukosa 6P dan seterusnya sehingga dapat dihasilkan 2 asam piruvat. Lalu, bagaimana dengan fruktosa dan manosa? Fruktosa dan manosa dapat langsung diubah menjadi fruktosa 6P. Untuk memperjelasnya, perhatikan Gambar 2.16.

2) Dekarboksilasi Oksidatif dan Siklus Krebs

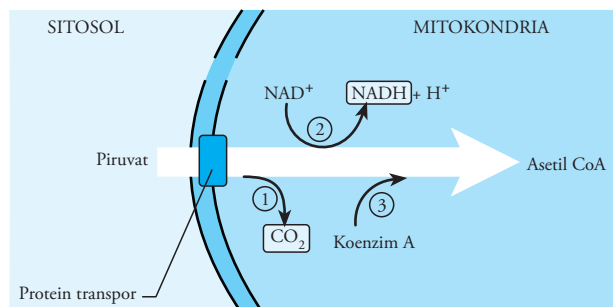
a) Dekarboksilasi Oksidatif

Kalian tentunya mengetahui bahwa dalam suatu metabolisme, terjadi reaksi yang begitu kompleks. Satu tahap reaksi selesai, maka akan masuk pada tahapan selanjutnya. Demikian juga pada tahap respirasi aerobik ini. Senyawa hasil dari tahapan glikolisis akan masuk ke tahapan **dekarboksilasi oksidatif**, yaitu tahapan pembentukan CO_2 melalui reaksi oksidasi reduksi (redoks) dengan O_2 sebagai penerima elektronnya. Dekarboksilasi oksidatif ini terjadi di dalam mitokondria sebelum masuk ke tahapan siklus Krebs. Oleh karena itu, tahapan ini disebut sebagai tahapan sambungan (*junction*) antara glikolisis dengan siklus Krebs.

Pada tahapan ini, asam piruvat (3 atom C) hasil glikolisis dari sitosol diubah menjadi asetil koenzim A (2 atom C) di dalam mitokondria. Pada tahap 1, molekul piruvat (3 atom C) melepaskan elektron (oksidasi) membentuk CO_2 (piruvat dipecah menjadi CO_2 dan molekul berkarbon 2). Pada tahap 2, NAD^+ direduksi (menerima elektron) menjadi $\text{NADH} + \text{H}^+$. Pada tahap 3, molekul berkar-



Gambar 2.16 Bagan masuknya senyawa-senyawa selain glukosa ke dalam reaksi glikolisis.



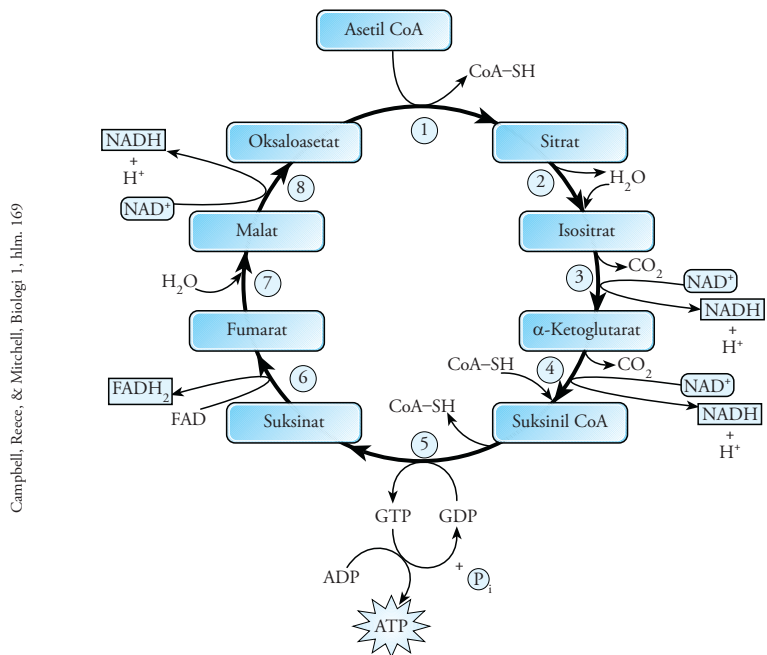
Gambar 2.17 Skema dekarboksilasi oksidatif

bon 2 dioksidasi dan mengikat Ko-A (koenzim A) sehingga terbentuk asetil Ko-A. Hasil akhir tahapan ini adalah asetil koenzim A, CO_2 , dan 2NADH .

b) Siklus Krebs

Asetil-KoA yang telah terbentuk akan menjadi bahan baku pada siklus selanjutnya, yaitu siklus Krebs. Oleh karena itu, Asetil Ko-A disebut **senyawa intemediate** atau senyawa antara. Siklus Krebs terjadi di matriks mitokondria dan disebut juga **siklus asam trikarboksilat**. Hal ini disebabkan siklus Krebs tersebut menghasilkan senyawa yang mempunyai 3 gugus karboksil, seperti asam sitrat dan asam isositrat.

Asetil koenzim A hasil dekarboksilasi oksidatif memasuki matriks mitokondria untuk bergabung dengan asam oksaloasetat dalam siklus Krebs, membentuk asam sitrat. Demikian seterusnya, asam sitrat membentuk bermacam-macam zat dan akhirnya membentuk asam oksaloasetat lagi.



Gambar 2.18 Skema siklus Krebs

Berikut ini tahapan-tahapan dari 1 kali siklus Krebs:

- (1) Asetil Ko-A (2 atom C) menambahkan atom C pada oksaloasetat (4 atom C) sehingga dihasilkan asam sitrat (6 atom C).
- (2) Sitrat menjadi isositrat (6 atom C) dengan melepas H_2O dan menerima H_2O kembali.
- (3) Isositrat melepaskan CO_2 sehingga terbentuk α -ketoglutarat (5 atom C).

- (4) α -ketoglutarat melepaskan CO_2 . NAD^+ sebagai **akseptor** atau penerima elektron) untuk membentuk NADH dan menghasilkan suksinil Ko-A (4 atom C).
- (5) Terjadi fosforilasi tingkat substrat pada pembentukan GTP (guanosis trifosfat) dan terbentuk suksinat (4 atom C).
- (6) Pembentukan fumarat (4 atom C) melalui pelepasan FADH_2 .
- (7) Fumarat terhidrolisis (mengikat 1 molekul H_2O) sehingga membentuk malat (4 atom C).
- (8) Pembentukan oksaloasetat (4 atom C) melalui pelepasan NADH.

Nah, bagaimana? Apakah kalian sudah dapat mengerti tentang siklus Krebs? Kemudian, apa sajakah hasil akhir dari siklus krebs tersebut?

Dengan mempelajari tahapan 1 siklus Krebs, kalian dapat menghitung hasil akhir dari siklus Krebs tersebut. Kalian sudah mengetahui bahwa satu siklus Krebs tersebut hanya untuk satu molekul piruvat saja. Sementara itu, hasil glikolisis menghasilkan 2 molekul piruvat (untuk 1 molekul glukosa). Oleh karena itu, hasil akhir total dari siklus Krebs tersebut adalah 2 kalinya. Dengan demikian, diperoleh hasil sebanyak **6 NADH**, **2FADH₂** dan **2ATP** (ingat: jumlah ini untuk katabolisme setiap 1 molekul glukosa).

Selanjutnya, apakah tahapan respirasi aerobik berakhir sampai siklus Krebs? Tidak, ada satu tahapan lagi dalam sistem respirasi sel yaitu sistem transportasi elektron.

3) Sistem Transportasi Elektron (STE) dan Fosforilasi Oksidatif

Sistem transportasi elektron terjadi di membran dalam mitokondria. Pada tahap ini, elektron-elektron yang dibawa oleh produk glikolisis dan siklus Krebs (NADH dan FADH_2) dipindahkan melewati beberapa molekul yang sebagian besar berupa protein.

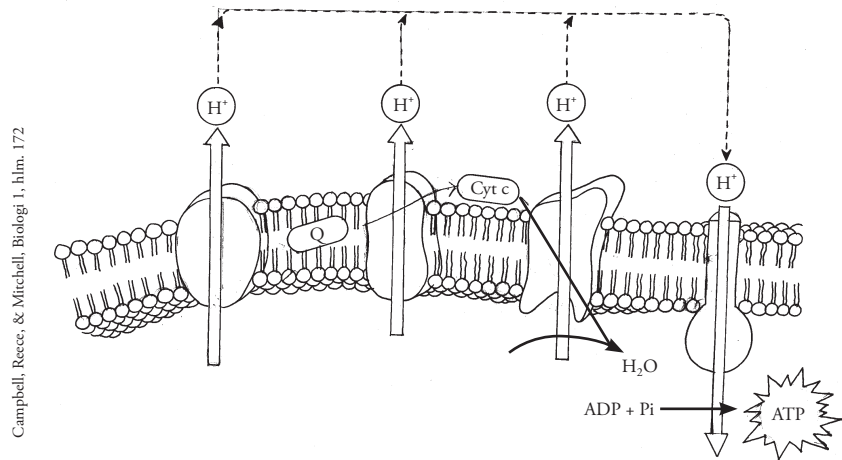
Transportasi elektron menghasilkan 90% ATP dari keseluruhan ATP hasil respirasi aerobik sel. Pembentukan ATP pada tahap ini terjadi melalui transfer elektron dengan penerima elektron terakhir yaitu oksigen, sehingga disebut **fosforilasi oksidatif**. Bagaimanakah tahapan transfer elektron tersebut? Simaklah uraian berikut.

Molekul pertama yang menerima elektron berupa flavoprotein, dinamakan **flavin mononukleotida** (FMN). Selanjutnya, elektron dipindahkan berturut-turut melewati molekul protein besi-sulfur (Fe-S), **ubiquinon** (Q atau CoQ), dan **sitokrom** (Cyst). Elektron melewati sitokrom b, Fe-S, sitokrom c1, sitokrom c, sitokrom a, sitokrom a₃, dan oksigen sebagai penerima elektron terakhir. Akhirnya terbentuklah molekul H_2O (air).

Pada sistem transportasi elektron, NADH dan FADH_2 masing-masing menghasilkan rata-rata 3 ATP dan 2 ATP. Sebanyak 2 NADH hasil glikolisis dan 2 NADH hasil dekarboksilasi oksidatif masing-masing menghasilkan 6 ATP. Sementara itu, 6 NADH dan 2 FADH_2 hasil

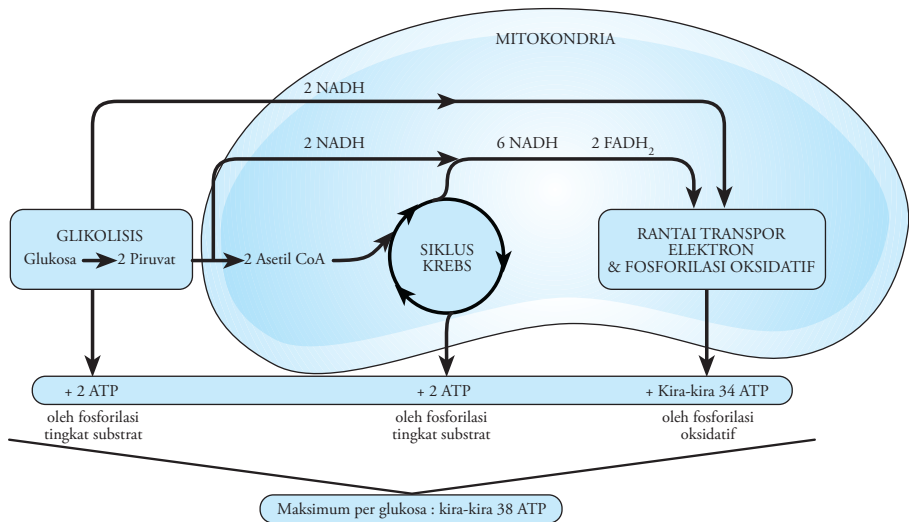
siklus Krebs masing-masing menghasilkan 18 ATP dan 4 ATP. Jadi, sistem transportasi elektron menghasilkan 34 ATP.

Rantai atau sistem transportasi elektron respirasi dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 2.19 Tahapan sistem transportasi elektron

Pada materi sebelumnya, kalian telah mempelajari tentang katabolisme karbohidrat (glikolisis), dekarboksilasi oksidatif, siklus Krebs, dan sistem transportasi elektron. Nah, agar kalian dapat memahami keseluruhan proses respirasi sel, perhatikanlah gambar berikut ini.



Gambar 2.20 Molekul ATP hasil respirasi aerobik 1 molekul glukosa.

Setelah mempelajari glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, maupun siklus Krebs, apakah kalian dapat membandingkan energi yang dihasilkan kedua proses tersebut? Nah, agar kalian benar-benar memahami perhitungan jumlah energi hasil respirasi aerobik, kerjakanlah rubrik *Telisisik* berikut ini.

Telisisik

Menghitung Jumlah Energi pada Respirasi Aerobik

Untuk menghitung jumlah energi total pada respirasi sel, ikutilah langkah-langkah sebagai berikut:

1. Buatlah tabel perhitungan, seperti di bawah ini.

No	Tahapan atau Siklus	Proses Pembentukan Energi (pada glikolisis, siklus Krebs, atau sistem transportasi elektron)	Sumber Penghasil Energi	Jumlah ATP
1.	Glikolisis	a. Fosforilasi tingkat substrat	2 ATP	2 ATP
		b. Fosforilasi oksidatif	2 NADH	6 ATP
		Dekarboksilasi oksidatif	.....	.....
2.	Siklus Krebs	a. Fosforilasi tingkat substrat	.....	.....
		b. Fosforilasi oksidatif	.....	18 ATP
		c.	2 FADH ₂	.....
Total ATP hasil respirasi aerobik (setiap 1 molekul glukosa)				38 ATP

2. Pelajari kembali uraian tentang tahapan respirasi aerobik, kemudian isilah tabel perhitungan tersebut.

Pada materi yang telah kalian pelajari, kalian telah mengetahui tentang respirasi aerobik. Selanjutnya, kalian akan mempelajari tentang respirasi anaerobik. Simaklah uraian berikut.

b. Respirasi Anaerobik

Dalam reaksi oksidasi, tidak hanya terjadi penerimaan oksigen saja. Proses pelepasan elektron juga merupakan reaksi oksidasi. Oleh karena itu, oksidasi tanpa oksigen masih dapat memungkinkan terjadinya metabolisme. Berdasarkan kemampuan menggunakan oksigen dalam respirasi, organisme dibedakan menjadi 2 yaitu organisme aerobik (menggunakan oksigen untuk respirasi) dan organisme anaerobik (mampu melakukan respirasi tanpa oksigen). Respirasi yang dapat dilakukan dalam keadaan tanpa oksigen ini disebut **respirasi anaerobik** (bahasa Yunani, *an* = tanpa, *aer* = udara, dan *bios* = kehidupan). Sementara respirasi aerobik menggunakan oksigen sebagai penerima elektron terakhir, respirasi anaerobik menggunakan senyawa organik selain oksigen sebagai penerima elektron terakhir. Nah, proses perombakan senyawa-senyawa kompleks menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana, dengan penerima maupun pemberi elektron atau hidrogen berupa senyawa organik disebut **fermentasi**.

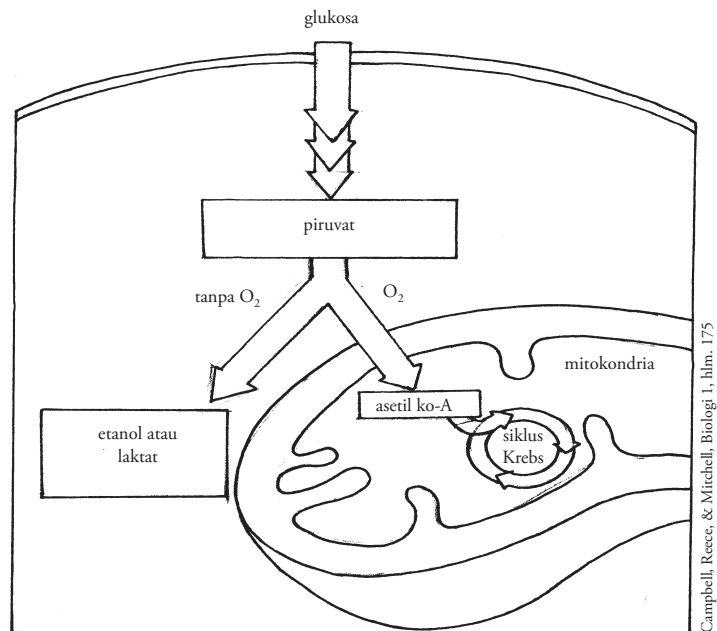
Galeri

Dapatkan kita melakukan respirasi anaerobik?

Pada saat kita berlari-lari, otot kita bekerja terlalu berat dalam melakukan respirasi sel. Akibatnya, jumlah persediaan oksigen dalam tubuh semakin mengecil. Untuk memperoleh oksigen, kita melakukan respirasi anaerobik melalui fermentasi asam laktat dengan mengubah piruvat menjadi asam laktat. Timbunan laktat dapat menyebabkan otot letih dan nyeri. Nafas kita yang terengah-engah adalah upaya kita untuk mendapatkan pasokan oksigen kembali.

id.wikipedia.org

Pada bab sebelumnya, kalian telah mengetahui bahwa salah satu sifat dari glikolisis adalah dapat terjadi secara aerob maupun anaerob. Pada keadaan aerob, piruvat hasil glikolisis dapat melanjutkan tahapan ke siklus Krebs. Pada keadaan anaerob, piruvat diubah menjadi produk lain seperti etanol atau asam laktat melalui fermentasi. Oleh karena itu, fermentasi dikatakan sebagai kelanjutan dari glikolisis. Proses respirasi dan fermentasi tersebut dapat dilakukan pada suatu sel, tergantung pada ada tidaknya oksigen.



Gambar 2.21 Katabolisme glukosa pada keadaan aerob dan anaerob

Fermentasi dibedakan berdasarkan produknya, misalnya **fermentasi alkohol** (produknya alkohol) dan **fermentasi asam laktat** (produknya asam laktat). Penerima elektron pada proses fermentasi dapat berupa asam piruvat, yaitu pada fermentasi asam laktat. Sementara itu, penerima elektron pada fermentasi alkohol adalah asetaldehid. Energi yang dihasilkan pada fermentasi lebih kecil dibandingkan energi hasil respirasi aerobik, yaitu 2 ATP : 38 ATP.

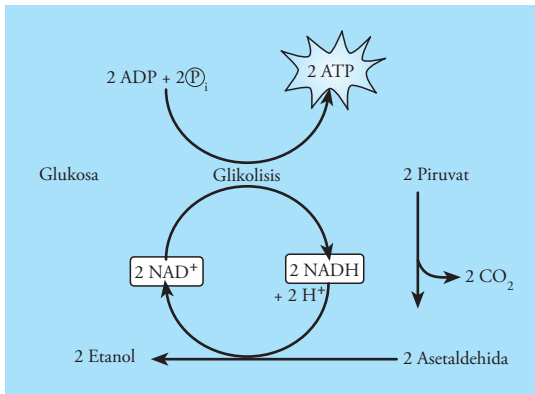
Selanjutnya, bagaimana proses yang terjadi selama fermentasi alkohol dan fermentasi asam laktat tersebut? Simaklah uraian berikut ini.

1) Fermentasi Alkohol

Setiap reaksi dalam metabolisme memerlukan bahan baku sebagai substrat awal. Nah, seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa glikolisis dapat menggunakan bahan seperti karbohidrat, baik kompleks (maltosa) maupun sederhana (glukosa). Demikian juga pada fermentasi alkohol maupun asam laktat.

Pada fermentasi alkohol, piruvat hasil glikolisis akan mengalami dekarboksilasi (melepas CO_2) sehingga membentuk asetaldehid. Kalian tentu masih mengingat bahwa glikolisis memerlukan NAD untuk

diubah menjadi NADH, bukan? Nah, pada fermentasi alkohol ini, NADH yang dihasilkan tersebut digunakan untuk mereduksi asetaldehid menjadi etanol. Oleh karena itu, asetaldehid merupakan senyawa organik sebagai penerima hidrogen terakhir pada fermentasi alkohol. Perhatikan Gambar 2.22.



Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 1, hlm. 175

Gambar 2.22 Skema fermentasi alkohol.

Kalian tentunya pernah, bahkan sering mengamati terjadinya fermentasi alkohol. Dapatkah kalian menyebutkannya? Beberapa contoh fermentasi alkohol, antara lain: pada pembuatan tape singkong atau tape ketan, bir, dan minuman anggur.

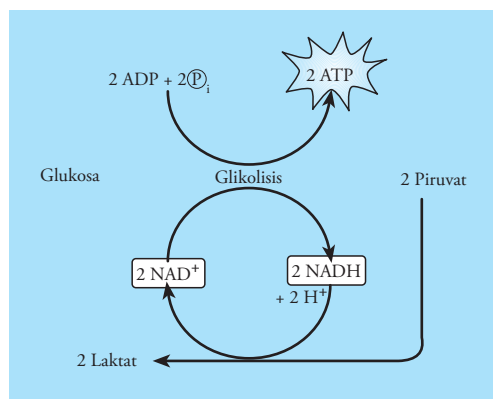
Beberapa organisme bersel satu yang berperan dalam fermentasi alkohol adalah ragi (khamir) dan bakteri. *Saccharomyces cereviceae* merupakan khamir yang berperan dalam pembuatan tape. Alkohol merupakan hasil fermentasi larutan gula oleh khamir. Untuk mengetahui ada tidaknya aktivitas fermentasi alkohol pada bahan, dapat dilihat berdasarkan gas CO_2 yang dihasilkan (dilihat dari ada tidaknya gelembung udara) dan ada tidaknya alkohol yang dihasilkan (dapat dicium bau alkoholnya).

2) Fermentasi Asam Laktat

Lain halnya dengan fermentasi alkohol, pada fermentasi ini, piruvat tidak dikarboksilasi terlebih dahulu menjadi asetaldehid melainkan langsung direduksi oleh NADH menjadi asam laktat. Dengan demikian, piruvat merupakan senyawa organik sebagai penerima hidrogen terakhir pada fermentasi asam laktat. Asam laktat tersebut mengalami ionisasi membentuk laktat.

Beberapa mikroorganisme seperti fungi (jamur mikroskopis) dan bakteri tertentu (*Lactobacillus sp.*) berperan dalam fermentasi asam laktat ini, antara lain: dalam pembuatan susu, keju, dan minuman yoghurt.

Agar kalian dapat memahami dan mempraktekan tentang proses fermentasi, lakukan tugas di rubrik *Per-cobaan* berikut ini.



Gambar 2.23 Fermentasi asam laktat

Percobaan

Mengamati Fermentasi Gula

A. Dasar Teori

Fermentasi merupakan proses perombakan senyawa-senyawa kompleks menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana dengan penerima maupun pemberi elektron atau hidrogen berupa senyawa organik. Alkohol merupakan hasil fermentasi gula oleh khamir. Bahan dasar fermentasi dapat berupa karbohidrat kompleks (singkong dan beras ketan) maupun karbohidrat sederhana seperti larutan gula. Untuk mengetahui ada tidaknya aktivitas fermentasi alkohol pada bahan, dapat dilihat berdasarkan gas CO_2 yang dihasilkan (dilihat dari ada tidaknya gelembung udara) dan ada tidaknya alkohol yang dihasilkan (dapat dicium bau alkoholnya).

B. Tujuan

Mengetahui ada tidaknya fermentasi oleh ragi (khamir) pada roti.

C. Alat dan Bahan

1. Gelas ukur 250 ml
2. Sendok
3. Ragi roti kering
4. Tepung terigu
5. Minyak atau mentega

D. Cara kerja

1. Buatlah adonan dengan mencampur sedikit demi sedikit 50 gram tepung terigu dan 2 gram ragi roti.
2. Tambahkan 30 ml air hangat, campurkan secara merata dengan menekan adonan menggunakan sendok selama 5 menit.
3. Lapisilah gelas ukur dengan minyak atau mentega secara merata dan tipis. Kemudian masukkan adonan ke dalam gelas ukur dengan menekan adonan sampai ke dasar gelas. Bacalah volume awal adonan tersebut.
4. Diamkan adonan dan simpan pada suhu kamar ($27\text{-}30^\circ\text{C}$) selama 90 menit.
5. Amatilah dan catat kenaikan volume adonan setiap 30 menit dan nyatakan dengan satuan ml.

E. Pembahasan

1. Apakah volume adonan semakin bertambah atau berkurang setiap 30 menit?
2. Gas apakah yang menyebabkan kenaikan volume tersebut?
3. Tuliskan persamaan reaksi fermentasi gula (glukosa) tersebut?
4. Khamir apakah yang kemungkinan berperan dalam fermentasi gula tersebut?

Catatan:

Kalian dapat merakit sendiri alat pengamatan fermentasi gula dengan menggunakan botol bekas air mineral dan dipotong bagian ujungnya. Kemudian berilah skala (tanda) volume dengan spidol atau pena untuk pengamatan perubahan volume.

Nah, setelah kalian mempelajari katabolisme karbohidrat serta respirasi aerobik, simaklah uraian tentang hubungan katabolisme karbohidrat dengan katabolisme lemak dan protein berikut.

2. Hubungan antara Katabolisme Lemak, Protein, dan Katabolisme Karbohidrat

Lemak merupakan molekul besar yang tersusun oleh 2 molekul kecil, yaitu asam lemak dan gliserol. Lemak dapat tersusun oleh 2-20 atom karbon.

Lemak berfungsi sebagai cadangan energi yang tinggi. Satu gram lemak mempunyai kandungan energi yang lebih besar (kira-kira 2 kali lipat) dibandingkan dengan 1 gram karbohidrat. Bagaimana hal ini dapat terjadi?

Salah satu contoh dari asam lemak yang mempunyai jumlah atom karbon sama dengan glukosa (6 atom C) adalah asam heksanoat (*heksa* = enam).



Lemak akan diuraikan menjadi asam lemak dan gliserol. Gliserol dapat diubah menjadi gliseraldehid fosfat dalam siklus glikolisis (lihat kembali Gambar 2.16.). Selanjutnya, akan masuk ke tahapan dekarboksilasi oksidatif, siklus Krebs, dan sistem transportasi elektron. Oleh karena itu, dihasilkan energi yang setara dengan katabolisme karbohidrat (glukosa) yaitu 38 ATP. Selanjutnya, bagaimana dengan asam lemak hasil penguraian lemak?

Asam lemak akan dioksidasi menjadi asetil Ko-A. Oksidasi asam heksanoat (6 atom C) akan menghasilkan 3 molekul asetil Ko-A (3 molekul masing-masing dengan 2 atom C) yang akan masuk ke siklus Krebs. Cobalah kalian ingat kembali hasil akhir dari siklus Krebs. Pada siklus Krebs tersebut dihasilkan 6 NADH, 3 FADH₂, dan 2 ATP (dari 2 molekul asetil Ko-A yang berasal dari 1 molekul glukosa). Dengan demikian, ATP yang dihasilkan oleh 3 molekul glukosa tentunya akan menghasilkan jumlah ATP lebih besar dibandingkan katabolisme glukosa. Oleh karena itu, semakin panjang rantai karbon penyusun asam lemak semakin banyak jumlah energi yang dihasilkan. Selanjutnya, bagaimana dengan katabolisme protein?

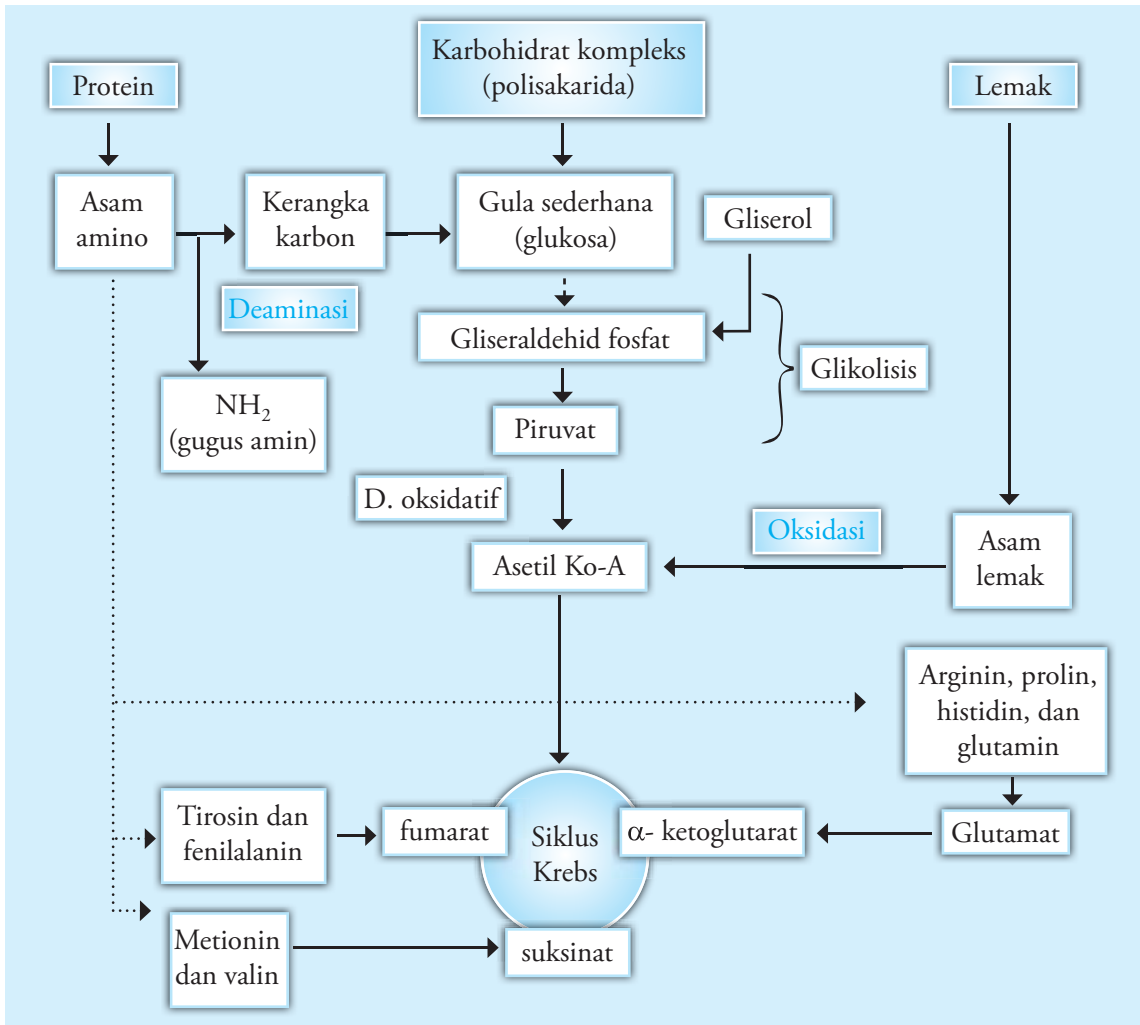
Pemecahan atau katabolisme protein dilakukan oleh organisme, jika cadangan makanan berupa karbohidrat dan lemak telah habis. Seperti halnya karbohidrat dan lemak, protein juga merupakan molekul besar yang tersusun oleh molekul-molekul yang lebih kecil, yaitu asam amino. Oleh karena itu, protein akan dipecah menjadi asam-asam amino penyusunnya. Asam-asam amino seperti tirosin dan fenilalanin akan diubah menjadi fumarat. Metionin dan valin akan menjadi sukcinat, serta asam amino arginin, prolin, histidin, dan glutamin akan diubah menjadi α -ketoglutarat. Selanjutnya, asam-asam amino tersebut masuk ke dalam siklus Krebs. Beberapa asam amino dapat mengalami deaminasi atau pelepasan gugus aminnya (-NH₂). Kerangka-kerangka karbon hasil pemecahan asam amino tersebut akan masuk ke siklus glikolisis, siklus Krebs dan dihasilkan jumlah energi yang setara dengan katabolisme karbohidrat. Hubungan antara katabolisme karbohidrat dengan katabolisme protein dan lemak dapat dilihat pada Gambar 2.24.

Galeri

Akibat Kelebihan Lemak Jenuh

Konsumsi asam lemak jenuh (mempunyai ikatan rangkap pada strukturnya) yang berlebihan dapat menghambat sistem peredaran darah. Penyakit ini disebut *atherosclerosis*.

Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 3, hlm. 57



Gambar 2.24 Hubungan katabolisme karbohidrat, protein, dan lemak

Setelah kalian mempelajari tentang katabolisme karbohidrat, protein, dan lemak maka ikutilah rubrik *Uji Kompetensi* berikut ini:

Uji Kompetensi

Kerjakanlah soal-soal berikut ini.

1. Apa yang dimaksud dengan respirasi? Sebutkan dan jelaskan macam respirasi.
2. Apa sajakah hasil akhir (senyawa) dari glikolisis, siklus Krebs, dan sistem transportasi elektron?
3. Di manakah tempat terjadinya glikolisis, siklus Krebs, dan sistem transportasi elektron di dalam sel?
4. Apa yang dimaksud dengan:
 - a. fosforilasi
 - b. fosforilasi tingkat substrat
 - c. fosforilasi oksidatif
5. Jelaskan tahapan-tahapan yang terjadi pada siklus Krebs.
6. Bandingkan jumlah energi atau ATP yang dihasilkan pada tahapan glikolisis, siklus Krebs, dan fosforilasi oksidatif pada sistem transportasi elektron.
7. Bandingkan jumlah energi (ATP) yang dihasilkan pada tahapan respirasi aerobik dengan energi hasil fermentasi.

C. Anabolisme

Selain menghasilkan energi, metabolisme juga memerlukan energi untuk menyusun senyawa-senyawa sederhana menjadi senyawa-senyawa yang dibutuhkan oleh tubuh melalui anabolisme. Misalnya, anabolisme lemak dapat menggunakan asetil Ko-A yang merupakan produk dari katabolisme. Glukosa dapat dibuat dari piruvat. Selain itu, asam-asam amino penyusun protein dapat dibuat dengan memodifikasi senyawa-senyawa hasil siklus Krebs. Selanjutnya, lemak, protein, maupun glikogen hasil anabolisme dapat digunakan sebagai bahan baku cadangan dalam katabolisme. Dengan demikian, katabolisme dan anabolisme merupakan peristiwa yang saling berkaitan satu sama lain.

Setiap organisme mempunyai kemampuan berbeda-beda dalam memperoleh energi untuk melangsungkan aktivitas kehidupannya. Oleh karena itu, organisme dibedakan menjadi beberapa kelompok berdasarkan sumber karbon, sumber donor elektron, dan sumber energinya.

Tabel 2.2. Pengelompokan Organisme Berdasarkan Sumber C, Donor Elektron, dan Sumber Energi

Kelompok organisme	Dasar pengelompokan		
	Sumber C (karbon)	Donor elektron (e-)	Sumber energi
Autotrof	senyawa anorganik		
Heterotrof	senyawa organik		
Organotrof		senyawa organik	
Litotrof		senyawa anorganik	
Fototrof			cahaya atau sinar
Khemotrof			bahan-bahan kimia

Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 1, hlm. 182 (dengan pengembangan)

Berdasarkan sumber energinya, organisme dapat memperoleh energi dari cahaya atau sinar matahari maupun dari bahan-bahan kimia di sekitar lingkungan hidupnya. Sebelum melanjutkan materi tentang anabolisme yaitu fotosintesis dan kemosintesis, ikutilah rubrik *Diskusi* berikut ini.

Diskusi

Menurut kalian, apakah manusia dapat membuat makanan sendiri dalam tubuhnya menggunakan energi dari sinar matahari tanpa memperoleh suplai makanan dari luar? Diskusikan dan jelaskan bersama kelompok kalian manfaat energi matahari bagi kehidupan manusia? Apa yang akan terjadi pada seluruh kehidupan organisme jika tidak ada sinar matahari?

1. Fotosintesis

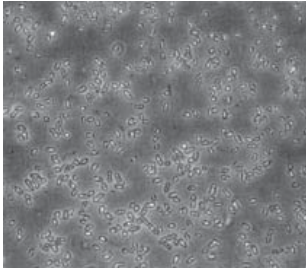
Tumbuhan dan alga hijau mempunyai kemampuan untuk menggunakan senyawa anorganik seperti CO_2 , dan H_2O , serta bantuan cahaya matahari untuk mensintesis karbohidrat. Proses tersebut terjadi melalui

Galeri

Apa hubungan anabolisme dengan pertumbuhan?

Salah satu tanda yang menunjukkan adanya pertumbuhan organisme adalah terjadinya pembelahan sel. Sebelum terjadi pembelahan sel tentunya diperlukan sintesis molekul atau senyawa-senyawa untuk pertumbuhan. Nah, agar organisme dapat tumbuh maka proses anabolisme atau sintesis senyawa-senyawa tersebut harus berlangsung lebih cepat daripada perombakannya.

Salisbury & Ross, Fisiologi Tumbuhan 3, hlm. 2



Gambar 2.25 Contoh bakteri sulfur

Galeri



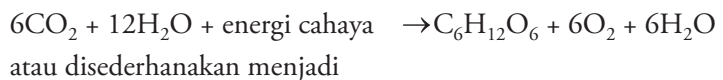
Joseph Priestly adalah seorang ahli kimia yang lahir pada tanggal 13 Maret 1733 di Fieldhead, Yorkshire, Inggris. Semasa mudanya, ia dididik untuk menjadi pendeta. Ia belajar di Akademi Daventry dan di sana mulai tertarik dengan ilmu alam (fisika). Setelah menjadi pendeta pada tahun 1755, ia mengajar di Akademi Warrington, Lancashire lalu menulis buku *Rudiments of English Grammar* (1766). Pertemuannya dengan Benjamin Franklin di London (tahun 1776) mendorongnya untuk melakukan eksperimen di bidang kelistrikan, hingga akhirnya ia menulis buku *The History of Electricity*.

Microsoft Encarta Premium 2006

peristiwa yang disebut **fotosintesis**. Oleh karena itu, organismenya bersifat **fotoautotrof**. Beberapa organisme fotoautotrof meliputi tumbuhan seperti lumut, pakis, tumbuhan paku, tumbuhan berbunga, alga hijau (rumpun laut), dan Euglena. Bakteri sulfur merupakan contoh organisme khemotrof (akan dibahas pada kemosisintesis). Fotosintesis merupakan satu-satunya penghasil makanan yang diperlukan bagi seluruh kehidupan organisme, termasuk manusia (heterotrof).

Penelitian pertama tentang fotosintesis dilakukan oleh **van Helmont** (1648). Dari hasil penelitiannya, dia menyatakan bahwa bertambahnya berat tumbuhan (yang telah ditanam selama lebih dari 5 tahun) disebabkan oleh pasokan air. Selanjutnya, berdasarkan penelitian **Joseph priestly**, tikus dan lilin yang menyala akan mati jika berada pada ruangan yang tertutup. Tanaman juga akan mati jika berada pada ruangan yang kekurangan oksigen. Sementara itu, menurut seorang dokter dari Belanda yaitu **Ingen-Housz**, bila tanaman yang berada pada ruangan tersebut disinari, maka tikus dan lilin dapat hidup dengan menghabiskan oksigen yang dihasilkan dari tanaman. Selanjutnya, dari hasil penelitian **Senebier**, diketahui bahwa pertumbuhan tanaman ditandai dengan meningkatnya kandungan karbon. Menurutnya, karbon dioksida akan diuraikan dan karbon tersebut akan bergabung dengan senyawa organik pada tanamannya dengan melepaskan oksigen.

Berikut ini persamaan fotosintesis yang menghasilkan produk karbohidrat (dalam hal ini glukosa), berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya:



Pada sel tumbuhan terdapat bagian yang berukuran kecil dan tersusun oleh zat putih telur dengan struktur (memipih) dan fungsi tertentu, disebut **plastida**. Plastida dibedakan menjadi plastida berpigmen dan tidak berpigmen. Kloroplas merupakan salah satu plastida yang berpigmen tersebut.

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa fotosintesis terjadi pada tumbuhan yang berwarna hijau. Bahan-bahan yang dapat menyerap cahaya tampak disebut **pigmen**. Warna hijau pada bagian tumbuhan disebabkan oleh pigmen hijau (pigmen yang memantulkan atau meneruskan cahaya hijau) yang terkandung di dalam kloroplas, yaitu **klorofil**.

Pada setiap millimeter persegi permukaan daun terdapat sekitar ½ juta kloroplas. Oleh karena itu, daun merupakan bagian yang dominan berwarna hijau dan merupakan tempat utama untuk fotosintesis pada sebagian besar tumbuhan. Selain itu, fotosintesis juga dapat terjadi pada bagian batang yang hijau dan buah yang belum masak.

Kloroplas terdapat pada bagian dalam daun yang tersusun oleh sel-sel hidup dan dapat melakukan proses-proses fisiologi, disebut **mesofil**. Di dalam kloroplas terdapat cairan atau fluida kental disebut **stroma** dan membran-membran halus berbentuk pipih seperti koin, sebagai tempat klorofil, disebut **membran tilakoid**. Di dalam membran tersebut terdapat ruangan yang disebut **ruang tilakoid** (lumen). Tumpukan dari beberapa membran tilakoid membentuk struktur yang disebut grana (tunggal = **granum**). Kloroplas diselubungi oleh 2 membran, yaitu membran dalam dan membran luar. Pada fotosintesis, masuknya karbondioksida ke daun dan keluarnya oksigen yang dihasilkan, melewati struktur yang disebut **stomata** (tunggal = **stoma**, dalam bahasa Yunani berarti mulut).

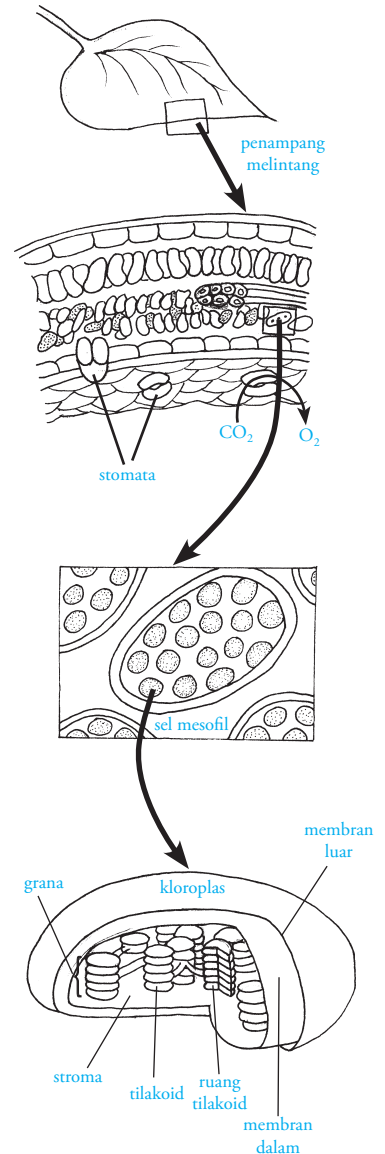
Sebagaimana rangkaian reaksi kimia pada respirasi, rangkaian reaksi kimia pada fotosintesis merupakan reaksi penyederhanaan dari 2 tahapan reaksi dalam fotosintesis. Kedua reaksi tersebut adalah **reaksi terang** (disebut bagian **foto**) dan reaksi gelap atau **siklus Calvin** (disebut bagian **sintesis**).

a. Reaksi Terang

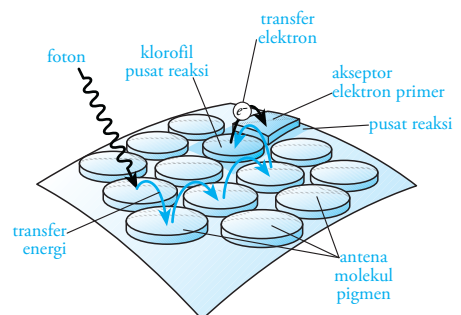
Pada reaksi terang, energi yang berasal dari matahari (energi cahaya) akan diserap oleh klorofil dan diubah menjadi energi kimia (untuk mensintesis NADPH dan ATP) di dalam kloroplas. Reaksi terang terjadi di dalam grana. Salah satu pigmen yang berperan secara langsung dalam reaksi terang adalah **klorofil a**. Di dalam membran tilakoid, klorofil bersama-sama dengan protein dan molekul organik berukuran kecil lainnya membentuk susunan yang disebut **fotosistem**. Beberapa ratus klorofil a, klorofil b, dan karotenoid membentuk suatu kumpulan sebagai “pengumpul cahaya” yang disebut **kompleks antena**. Sebelum sampai ke pusat reaksi, energi dari partikel-partikel cahaya (foton) akan dipindahkan dari satu molekul pigmen ke molekul pigmen yang lain. **Pusat reaksi** merupakan molekul klorofil pada fotosistem, yang berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi kimiawi (reaksi cahaya) fotosintesis pertama kalinya.

Di dalam membran tilakoid terdapat 2 macam fotosistem berdasarkan urutan penemuannya, yaitu **fotosistem I** dan **fotosistem II**. Setiap fotosistem tersebut mempunyai klorofil pusat reaksi yang berbeda, tergantung dari kemampuan menyerap panjang gelombang cahaya. Klorofil pusat reaksi pada fotosistem I disebut **P700**, karena mampu menyerap panjang gelombang cahaya 700 nm (spektrumnya sangat merah), sedangkan pada fotosistem II disebut **P680** (spektrum merah).

Kalian tentu masih ingat bahwa di dalam fotosistem terdapat ratusan antena atau klorofil. Oleh karena itu, aliran elektron pada reaksi terang akan mengikuti suatu rute tertentu. Selanjutnya, bagaimanakah proses aliran elektron pada reaksi terang? Ada 2 kemungkinan aliran elektron pada reaksi terang. Nah, untuk menjawab hal tersebut simaklah uraian berikut.



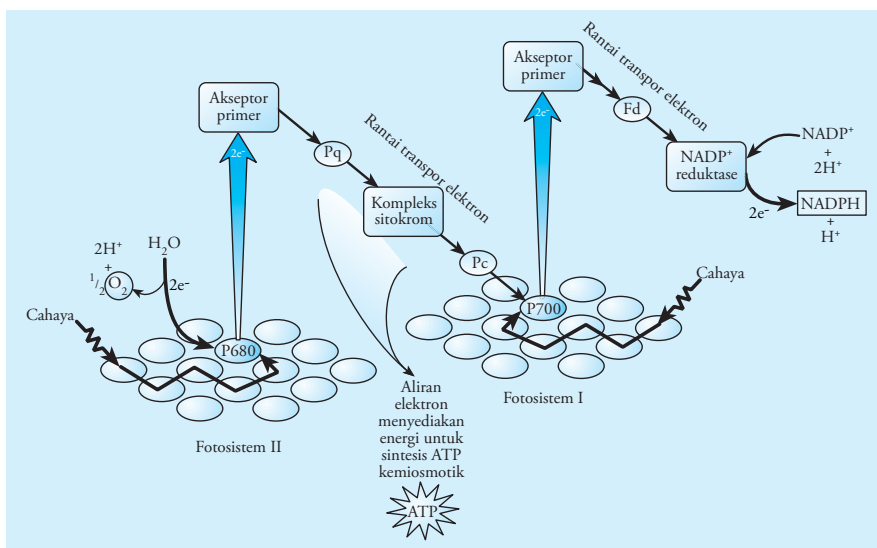
Gambar 2.26 Kloroplas



Gambar 2.27 Kerja fotosistem

1) Aliran Elektron Non-siklis

Langkah awal dari reaksi terang adalah transfer elektron tereksitasi dari klorofil pusat reaksi menuju molekul khusus yang disebut **akseptor elektron primer**. Air (H_2O) diuraikan menjadi 2 ion hidrogen dan 1 atom oksigen kemudian melepaskan O_2 . Elektron yang berasal dari air (H_2O) menggantikan elektron yang hilang pada P680. Sebagaimana sistem transportasi elektron pada respirasi aerobik, transport elektron pada reaksi terang ini melalui rantai transport elektron menuju fotosistem I (P700). Secara berturut-turut, rantai elektron tersebut yaitu: **plastokuinon** (Pq), merupakan pembawa elektron; **kompleks sitokrom**; dan **plastosianin** (Pc), merupakan protein yang mengandung tembaga. Adanya aliran elektron ini akan menghasilkan energi-energi yang kemudian tersimpan sebagai ATP. Pembentukan ATP yang menggunakan energi cahaya melalui aliran elektron non siklis pada reaksi terang ini disebut **fotofosforilasi non siklis**.



Gambar 2.28
Aliran non-siklis reaksi terang

Setelah elektron mencapai fotosistem I (P700), elektron ditangkap oleh akseptor primer fotosistem I. Elektron melalui rantai transport elektron ke-dua, yaitu melalui protein yang mengandung besi atau **feredoksin** (Fd). Selanjutnya, enzim $NADP^+$ reduktase mentransfer elektron ke $NADP^+$ sehingga membentuk NADPH yang menyimpan elektron berenergi tinggi dan berfungsi dalam sintesis gula dalam siklus berikutnya yaitu **siklus Calvin**. Dengan demikian, reaksi terang menghasilkan ATP dan NADPH.

2) Aliran elektron siklis

Pada aliran elektron siklis ini, elektron dari akseptor primer fotosistem I dikembalikan ke fotosistem I (P700) melalui feredoksin, kompleks sitokrom, dan plastosianin. Oleh karena itu, pada aliran si-

klis ini menyebabkan produksi ATP bertambah tetapi tidak terbentuk NADPH serta tidak terjadi pelepasan molekul O_2 . Proses pembentukan ATP melalui aliran siklis ini disebut **fotofosforilasi siklis**. Perhatikan Gambar 2.29.

b. Reaksi Gelap (Siklus Calvin)

Bahan-bahan yang dihasilkan dari reaksi terang akan digunakan dalam siklus Calvin. ATP digunakan sebagai sumber energi dan NADPH sebagai tenaga pereduksi untuk penambahan elektron berenergi tinggi. Siklus Calvin terjadi pada bagian kloroplas yaitu stroma. Pada reaksi gelap ini, bahan untuk fotosintesis (CO_2) nantinya akan dibentuk menjadi molekul gula setelah melalui 3 tahapan, antara lain:

1) Fiksasi Karbon

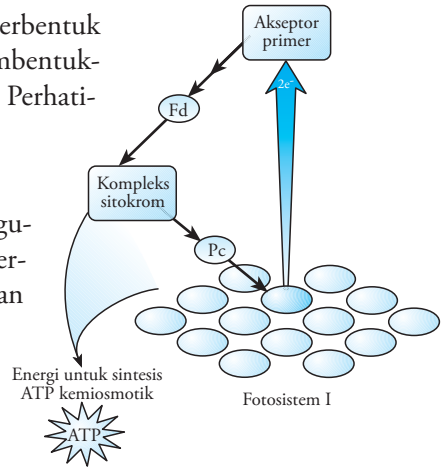
Pada tahap ini, gula berkarbon 5 yang disebut ribulosa 1,5 bis-fosfat (RuBP) mengikat CO_2 membentuk senyawa intermediate yang tidak stabil, sehingga terbentuk 3-fosfoglisarat. Pembentukan tersebut dikatalisis oleh enzim RuBP karboksilase atau rubisko.

Sebagian besar tumbuhan dapat melakukan fiksasi karbon dan menghasilkan senyawa (produk) pertama berkarbon 3, yaitu 3-fosfoglisarat. Oleh karena itu, tumbuhan yang dapat memfiksasi CO_2 ini disebut **tumbuhan C_3** . Contohnya adalah tanaman padi, gandum, dan kedelai. Pada beberapa tumbuhan, fiksasi karbon mendahului siklus Calvin dengan cara membentuk senyawa berkarbon 4 sebagai produk pertamanya. Tumbuhan seperti ini disebut **tumbuhan C_4** . Contohnya adalah tebu, jagung, dan anggota rumput-rumputan.

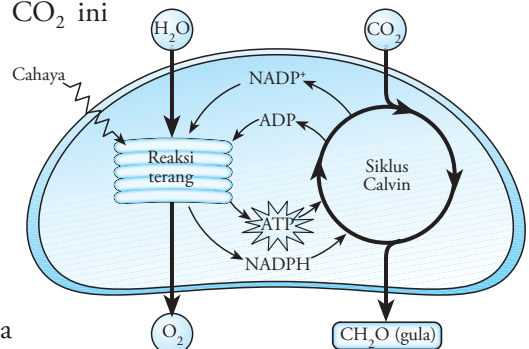
Tidak seperti pada tumbuhan C_3 dan C_4 , tumbuhan kaktus dan nanas membuka stomatanya pada malam hari dan menutupnya pada siang hari. Pada saat stomata terbuka, tumbuhan mengikatkan CO_2 pada berbagai asam organik. Cara fiksasi karbon ini pertama kali ditemukan pada tumbuhan famili Crassulaceae (tumbuhan penyimpan air) dan disebut metabolisme asam krasulase (*Crassulacean Acid Metabolism*) sehingga tumbuhannya disebut **tumbuhan CAM**. Asam organik (senyawa intermediate) yang dibuat pada malam hari disimpan dalam vakuola sel mesofil sampai pagi hari. Pada siang hari (stomata tertutup), reaksi terang dapat memasok ATP dan NADPH untuk siklus Calvin. Pada saat itu, asam organik melepaskan CO_2 dan memasuki molekul gula (RuBP) dalam kloroplas. Dengan demikian, baik tumbuhan C_3 , C_4 , maupun CAM akan menggunakan siklus Calvin setelah fiksasi CO_2 , untuk membentuk molekul gula dari karbondioksida.

2) Reduksi

Setiap molekul 3-PGA menerima gugus fosfat dari ATP sehingga terbentuk 1,3 bisfosfoglisarat. Elektron dari NADPH mereduksi 1,3



Gambar 2.29 Aliran siklis reaksi terang

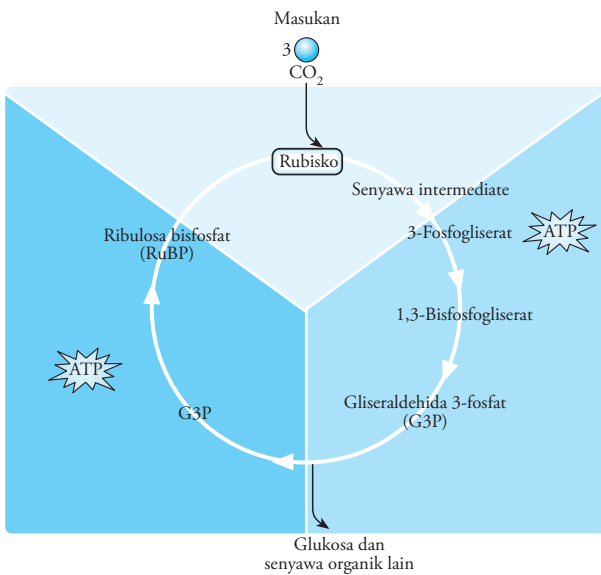


Gambar 2.30 Masuknya produk reaksi terang ke siklus Calvin

bisfosfogliserat dan terbentuk 6 molekul gliseraldehid 3-fosfat (G3P), yang dikatalisis oleh G3P dehidrogenase. Satu molekul G3P akan keluar sebagai molekul gula atau glukosa dan senyawa organik lain yang diperlukan tumbuhan, sedangkan 5 molekul G3P yang lain akan masuk ke tahapan regenerasi.

3) Pembentukan kembali (regenerasi) RuBP

Pada tahapan terakhir siklus Calvin ini, RuBP sebagai pengikat CO_2 dibentuk kembali oleh 5 molekul G3P. RuBP siap untuk mengikat CO_2 kembali dan siklus Calvin dapat berlanjut kembali.



Gambar 2.31 Tahapan siklus Calvin

Dengan demikian, molekul gula tidak akan terbentuk hanya dengan reaksi terang atau siklus Calvin saja. Oleh karena itu, kedua proses tersebut merupakan gabungan proses untuk terjadinya fotosintesis.

Pada materi sebelumnya, kalian telah mempelajari bahwa fotosintesis menghasilkan molekul gula. Gula yang dibuat dalam kloroplas tersebut akan digunakan untuk proses respirasi tumbuhan atau menyusun senyawa organik lainnya dalam sel tumbuhan. Gula tersebut akan diedarkan ke seluruh bagian tumbuhan, dalam bentuk gula sederhana seperti glukosa. Molekul-molekul gula berlebih yang terbentuk selama fotosintesis dan tidak diedarkan, akan menumpuk atau disimpan di dalam plastida sebagai sumber cadangan energi

dalam bentuk **amilum** atau pati (polisakarida).

Lalu, bagaimanakah kita dapat membuktikan adanya fotosintesis dan respirasi pada tumbuhan? Agar dapat menjawabnya, lakukanlah rubrik *Percobaan* berikut.

Percobaan

Mengetahui Adanya Fotosintesis dan Respirasi pada Tumbuhan

A. Dasar Teori

Fotosintesis dan respirasi merupakan dua reaksi penghasil energi pada tumbuhan. Fotosintesis berlangsung selama siang hari, sedangkan respirasi terjadi pada siang dan malam hari. Untuk melakukan fotosintesis, tumbuhan memerlukan CO_2 , H_2O (air), dan cahaya sehingga dihasilkan karbohidrat (senyawa gula). Sementara itu pada respirasi tumbuhan, gula dirombak menjadi CO_2 dan H_2O dengan bantuan oksigen.

B. Tujuan

Membuktikan fotosintesis dan respirasi pada tumbuhan.

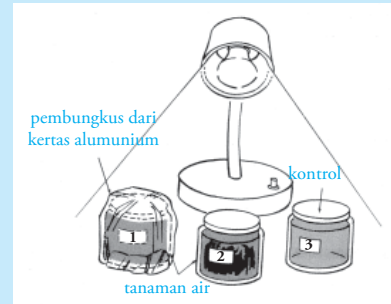
C. Alat dan Bahan

- | | |
|---------------------------------|--------------------|
| 1. Tiga stoples dengan tutupnya | 3. Pensil |
| 2. Air suling | 4. Dua tanaman air |

5. Indikator brom timol biru
6. Kertas aluminium berukuran 30 x 30 cm
7. Lampu duduk

D. Cara Kerja

1. Bilaslah stoples menggunakan air suling.
2. Nomorilah stoples 1, 2, dan 3 menggunakan pensil agar tulisan tidak mudah luntur terkena air.
3. Masukkan tanaman dan air dalam stoples 1 dan 2. Stoples 1 digunakan sebagai kontrol sehingga tanaman tidak dimasukkan ke dalamnya.
4. Isilah ketiga stoples dengan indikator brom timol biru.
5. Tutuplah setiap stoples, kecuali stoples 1 ditutup menggunakan aluminium foil agar cahaya tidak masuk dalam stoples.
6. Letakkan ketiga stoples kira-kira 20 cm di depan lampu duduk (lihat Gambar 2.32).
7. Periksa warna larutan dalam stoples, setiap 1 jam selama 8 jam. Usahakan segera menutup kembali stoples 1 menggunakan aluminium foil.
8. Catatlah hasil pengamatan kalian.



Gambar 2.32 Ketiga stoples diletakkan ± 20 cm di depan lampu duduk.

Catatan: Indikator brom timol biru bisa digunakan untuk menguji adanya CO_2 . Adanya CO_2 menyebabkan warna biru pada larutan cepat berubah menjadi hijau atau kuning, tergantung banyak sedikitnya CO_2 .

E. Pembahasan

1. Bagaimanakah perubahan warna larutan dalam stoples 1, 2, dan 3? Jelaskan mengapa demikian.
2. Kapankah fotosintesis berlangsung? Di dalam stoples berapakah terjadinya?
3. Kapankah respirasi berlangsung? Di dalam stoples berapakah terjadinya?
4. Manakah stoples yang mengandung CO_2 paling banyak? Jelaskan.

Sebagaimana telah kalian ketahui bahwa proses fotosintesis memerlukan cahaya dan CO_2 . Oleh karena itu, faktor lingkungan seperti cahaya dan pasokan CO_2 di dalam sel dapat memengaruhi kecepatan fotosintesis. Faktor-faktor tersebut dapat saling berinteraksi dalam memengaruhi fotosintesis. Jika intensitas cahaya rendah maka kecepatan fotosintesis akan rendah pula. Pada keadaan ini, cahaya dikatakan sebagai **faktor pembatas**. Salah satu cara untuk menentukan kecepatan fotosintesis adalah dengan mengamati pembentukan oksigen. Pada saat intensitas cahaya mencapai titik tertentu (jenuh cahaya pada kondisi percobaan) maka tidak akan memengaruhi produksi oksigen. Keadaan tersebut kemungkinan disebabkan CO_2 menjadi faktor pembatas. Nah, jika konsentrasi CO_2 tersebut ditingkatkan maka kecepatan fotosintesis akan meningkat dengan meningkatnya intensitas cahaya. Selain cahaya dan CO_2 , suhu juga dapat memengaruhi kecepatan fotosintesis jika cahaya bukan sebagai faktor pembatas.

Menurut **F.F. Blackman** (tahun 1905), fotosintesis dapat berlangsung jika ada cahaya dan akan berhenti jika tidak ada cahaya. Fotosintesis terdiri dari reaksi fotokimia dan reaksi enzimatik. Kondisi

tanpa cahaya (gelap) dapat menghambat pembentukan O_2 melalui reaksi fotokimia. Selain faktor lingkungan, faktor dalam juga dapat mempengaruhi kecepatan fotosintesis, antara lain: konsentrasi enzim, kekurangan air, dan konsentrasi klorofil.

Untuk mengetahui pengaruh faktor luar terhadap fotosintesis, lakukanlah tugas di rubrik *Percobaan* berikut ini.

Percobaan

Mengetahui Pengaruh Cahaya terhadap Fotosintesis

A. Dasar Teori

Fotosintesis dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan faktor dalam. Faktor lingkungan meliputi CO_2 , suhu, dan intensitas cahaya. Sementara itu, faktor dalam meliputi konsentrasi enzim, kekurangan air, dan konsentrasi klorofil. Fotosintesis dapat berlangsung jika ada cahaya dan akan berhenti jika tidak ada cahaya (gelap). Keadaan tanpa cahaya (gelap) dapat menghambat pembentukan O_2 melalui reaksi fotokimia.

B. Tujuan

Mengamati dan mengetahui pengaruh suhu terhadap fotosintesis dengan mengukur banyaknya oksigen (O_2) yang dihasilkan.

C. Alat dan Bahan

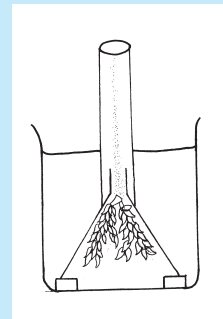
1. Tanaman air *Hydrilla* sp.
2. Air jernih
3. Larutan $NaHCO_3$ (Na-bikarbonat)
4. Gelas *becker* atau bejana gelas
5. Corong kaca
6. Tabung reaksi
7. *Hand counter* (alat penghitung)
8. *Timer* (pencatat waktu)

D. Cara Kerja

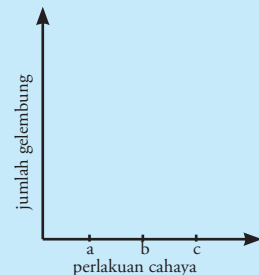
1. Siapkan air jernih dalam 2 gelas becker dan tambahkan beberapa tetes $\frac{1}{2}$ % $NaHCO_3$.
2. Potonglah batang tanaman *Hydrilla* sp. kira-kira 10 cm.
3. Masukkan tanaman tersebut secara terbalik (dengan bagian pangkal menghadap ke pipa corong). Pipa corong menghadap ke atas dan di atasnya ditutup tabung reaksi yang telah diisi air.
4. Simpanlah tanaman dalam gelas *becker* pada 3 tempat yang berbeda, yaitu (a) di dalam ruangan (almari), (b) di bawah pohon yang rindang, dan (c) di lapangan terbuka dengan intensitas cahaya matahari cukup tinggi.
5. Amatilah oksigen (O_2) yang terbentuk melalui gelembung-gelembung gas yang dihasilkan. Hitung dan catatlah banyaknya gelembung yang dihasilkan pada masing-masing tanaman dengan *hand counter* selama 5 menit.
6. Buatlah grafik yang menunjukkan hubungan antara cahaya dan laju fotosintesis.

E. Pembahasan

1. Pada perlakuan manakah tidak dihasilkan gelembung, paling sedikit gelembungnya, atau paling banyak gelembungnya?
2. Bagaimanakah kesimpulan dari grafik yang kalian peroleh?
3. Apakah manfaat cahaya bagi tanaman *Hydrilla* sp. tersebut?



Gambar 2.33 Percobaan fotosintesis *Hydrilla* sp.

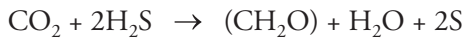


Gambar 2.34 Hubungan cahaya Vs laju fotosintesis

2. Kemosintesis

Tumbuhan hijau menggunakan energi cahaya untuk membentuk bahan makanan berupa karbohidrat atau glukosa. Hal ini tidak terjadi pada beberapa bakteri, seperti bakteri sulfur dan bakteri besi.

Bakteri sulfur menggunakan energi dari senyawa kimia yaitu hidrogen sulfida (H_2S) dan juga CO_2 untuk membentuk karbohidrat. Proses pembentukan bahan makanan dengan menggunakan energi dari bahan-bahan kimia disebut **kemosintesis**. Bakteri tersebut menguraikan H_2S menjadi atom hidrogen dan sulfur. Kemudian pada reaksi gelap, atom-atom hidrogen digunakan untuk mereduksi CO_2 dalam membentuk gula atau karbohidrat. Proses tersebut tidak melepaskan oksigen, tetapi menghasilkan sulfur. Persamaan reaksinya sebagai berikut:



Nah, agar kalian dapat memahami tentang anabolisme dengan baik, lakukanlah rubrik *Telisisik* dan *Uji Kompetensi* berikut ini.

Telisisik

Merancang Kegiatan Fermentasi Tape Ketan

Lakukanlah kegiatan ini di rumah kalian masing-masing, agar kalian dapat mempraktekkan proses fermentasi sederhana. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Tanaklah beras ketan, kemudian dinginkanlah.
2. Setelah dingin, taburkan ragi tape secara merata pada beras ketan.
3. Bungkuslah ketan tersebut dengan daun atau plastik kemudian simpanlah di tempat tertutup selama 48 jam pada suhu kamar.
4. Setelah 48 jam, tentukan rasa dan baunya.
5. Organisme apa yang berperan pada fermentasi tersebut?
6. Ceritakan keseluruhan kegiatan fermentasi kalian dari tahap awal sampai keterangan hasil yang kalian peroleh, di depan kelas.

Uji Kompetensi

Kerjakanlah soal-soal berikut ini.

1. Apa yang dimaksud fotosintesis? Tuliskan persamaan reaksi fotosintesis dalam menghasilkan karbohidrat.
2. Di manakah tempat terjadinya reaksi terang dan reaksi gelap?
3. Sebutkan 2 kemungkinan tahapan aliran elektron pada reaksi terang dan 3 tahapan pada reaksi gelap.
4. Apa sajakah hasil (produk) dari reaksi terang dan reaksi gelap?
5. Sebutkan faktor lingkungan dan faktor dalam yang mempengaruhi fotosintesis.
6. Berikan contoh bakteri yang melakukan kemosintesis? Apa sajakah hasil yang diperoleh.

I k h t i s a r

1. Metabolisme merupakan suatu rangkaian atau proses yang terarah dan teratur di dalam sel tubuh melalui reaksi-reaksi kimiawi, sehingga diperlukan atau dihasilkan bahan-bahan tertentu seperti unsur, molekul, senyawa, atau energi.
2. Metabolisme dibedakan menjadi katabolisme dan anabolisme. Katabolisme adalah proses perombakan senyawa-senyawa yang kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana melalui reaksi-reaksi kimiawi, sehingga dihasilkan energi. Anabolisme adalah proses pembentukan senyawa-senyawa kompleks dari senyawa-senyawa yang lebih sederhana melalui reaksi-reaksi kimiawi, sehingga diperlukan adanya energi.
3. Sebagian besar enzim tersusun oleh 2 bagian, yaitu bagian yang berupa protein, disebut apoenzim dan bagian non protein yang disebut kofaktor (dapat berupa koenzim atau gugus prostetik).
4. Terdapat 2 teori tentang kerja enzim, yaitu model gembok – kunci (*lock and key*) dan teori ketepatan induksi (*induced fit theory*).
5. Beberapa sifat enzim, antara lain: enzim sebagai biokatalisator suatu reaksi, bekerja secara khusus, dapat bekerja secara bolak balik (reversibel), berwujud sebagai koloid, rusak jika kena panas (termolabil), dan dapat diekstraksi dari sel tanpa kehilangan aktivitas katalitiknya.
6. Faktor yang menghambat kerja enzim, antara lain: inhibitor (reversibel dan irreversibel), zat-zat pengaktif (aktivator), suhu, pH, hasil akhir, konsentrasi enzim, konsentrasi substrat, dan air.
8. Enzim digolongkan berdasarkan apa yang terjadi di dalam reaksi. Enzim digolongkan menjadi oksidoreduktase (dehidrogenase, oksidase, dan hidrosilase), transferase, hidrolase (peptidase, esterase, glikosidase, dan fosfatase), liase, ligase, dan isomerase.
9. Respirasi merupakan reaksi kimia sel untuk merombak senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana dengan menghasilkan energi. Respirasi dibedakan menjadi dua macam, yaitu respirasi aerobik dan respirasi anaerobik.
10. Secara umum, reaksi respirasi aerobik dibedakan menjadi 3 tahapan, yaitu glikolisis, dekarboksilasi oksidatif dan daur Krebs, serta rantai transportasi elektron respirasi.
11. Glikolisis adalah rangkaian reaksi kimia penguraian glukosa (yang memiliki 6 atom C) menjadi asam piruvat (senyawa yang memiliki 3 atom C), NADH, dan ATP. Pada sel eukariotik, glikolisis terjadi di sitoplasma (sitosol). Glikolisis terjadi melalui 10 tahapan, yang terdiri dari 5 tahapan penggunaan energi dan 5 tahapan pelepasan energi. Hasil akhir glikolisis adalah 2ATP + 2NADH.
12. Pembentukan ATP dapat terjadi dengan cara fosforilasi tingkat substrat dan fosforilasi oksidatif. Respirasi aerobik menghasilkan sebanyak 38 total ATP.
13. Hasil akhir glikolisis (1 molekul glukosa) adalah 2 piruvat, 2 NADH, dan 2 ATP. Hasil akhir siklus Krebs adalah 6 NADH, 2 FADH, dan 2 ATP.
14. Elektron-elektron yang dibawa oleh NADH dan FADH₂ hasil glikolisis dan siklus Krebs akan masuk ke dalam sistem transportasi elektron pada membran dalam mitokondria untuk membentuk ATP.
15. Fermentasi dibedakan berdasarkan produknya, misalnya fermentasi alkohol (produknya alkohol) dan fermentasi asam laktat (produknya asam laktat). Beberapa organisme bersel satu yang berperan dalam fermentasi alkohol adalah ragi (khamir) dan bakteri. *Saccharomyces cereviceae* merupakan khamir yang berperan dalam pembuatan tape.
16. Organisme dibedakan menjadi beberapa kelompok berdasarkan sumber karbon (autotrof dan heterotrof), sumber donor elektron (organotrof dan litotrof), dan sumber energinya (fototrof dan kemotrof).
17. Tumbuhan dan alga hijau dapat melakukan fotosintesis, yaitu menggunakan senyawa anorganik seperti CO₂ dan H₂O, serta bantuan cahaya matahari untuk mensintesis karbohidrat.
18. Proses pembentukan bahan makanan dengan menggunakan energi dari bahan-bahan kimia disebut kemosintesis. Contohnya pada bakteri sulfur dan bakteri besi.

ATP Adenosin trifosfat, merupakan suatu nukleotida (monomer atau penyusun asam nukleat) dan dapat mengeluarkan energi bebas, ketika ikatan fosfatnya dihidrolisis, sehingga digunakan untuk anabolisme

Ekstraksi Proses pemisahan, pengambilan, atau pengeluaran suatu komponen (bagian) campuran dari campurannya

Elektron Bagian dari atom yang mempunyai muatan negatif

Energi Sesuatu yang mempunyai kemampuan untuk melakukan kerja atau usaha. Keberadaannya tidak terlihat kecuali akibat yang ditimbulkan

Flavoprotein Protein yang mengandung pigmen kuning (flavin) dan dapat mentransfer elektron ke sitokrom

Koloid Bentuk yang terdiri dari zat atau bahan pemecah (pendispersi) dan zat terdispersi (zat pemecah, agar menjadi bagian yang sangat halus), hanya dapat dilihat dengan mikroskop ultra

NAD⁺ Koenzim yang terdapat pada semua sel dan membantu enzim memindahkan elektron selama reaksi redoks metabolisme

Oksidasi Peristiwa senyawa atau unsur melepas elektron, hidrogen, energi atau menerima oksigen

Reaksi enzimatis Reaksi kimia yang melibatkan enzim

Reaksi fotokimia Reaksi atau perubahan materi yang melibatkan energi cahaya

Reaktan Disebut pereaksi, merupakan zat yang berperan langsung dalam pembentukan produk selama reaksi kimia

Reduksi Peristiwa senyawa atau unsur menerima elektron, hidrogen, energi, atau melepas oksigen

Reversibel Sifat reaksi yang dapat balik atau kembali lagi seperti semula (reaksi 2 arah)

Sitokrom Protein yang mengandung besi dan merupakan komponen sistem transportasi elektron dalam mitokondria dan kloroplas

Termolabil Sifat yang mudah dipengaruhi oleh perubahan suhu (misalnya mudah rusak karena suhu panas atau tinggi)

Ulangan Harian

A Pilihlah satu jawapan yang paling tepat.

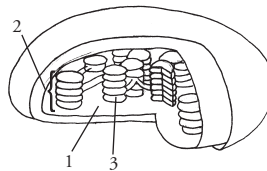
- Metabolisme dibedakan menjadi dua berdasarkan kebutuhan energi dan reaksinya, yaitu . . .
 - respirasi aerobik dan respirasi anaerobik
 - anabolisme dan katabolisme
 - fotosintesis dan respirasi
 - fotosintesis dan fermentasi
 - kemosintesis dan fotosintesis
- Berikut adalah contoh anabolisme, yakni . . .
 - glikolisis dan siklus Krebs
 - siklus Krebs dan siklus Calvin
 - respirasi aerobik dan respirasi anaerobik
 - fermentasi alkohol dan fermentasi asam laktat
 - fotosintesis dan kemosintesis
- Keseluruhan enzim lengkap yang terdiri dari komponen protein dan komponen non protein disebut . . .
 - apoenzim
 - koenzim
 - kofaktor
 - holoenzim
 - gugus prostetik
- Bagian dari enzim yang merupakan komponen non protein berupa molekul anorganik disebut . . .

- a. apoenzim
 - b. koenzim
 - c. kofaktor
 - d. holoenzim
 - e. gugus prostetik
5. Berikut yang merupakan contoh koenzim adalah
 - a. Mg^{2+}
 - b. NAD^+
 - c. Fe^{2+}
 - d. Mn
 - e. Zn
 6. Berikut yang merupakan salah satu sifat enzim adalah
 - a. enzim dapat menaikkan energi aktivasi
 - b. enzim dapat berikatan dan dapat mengenal bermacam-macam substrat
 - c. enzim dapat menurunkan energi aktivasi
 - d. enzim ikut bereaksi dan terlibat langsung dengan substrat untuk membentuk senyawa produk
 - e. enzim merupakan reaktan dalam reaksi kimia metabolisme
 7. Inhibitor kompetitif dalam enzim mempunyai sifat
 - a. berikatan lemah dengan enzim pada sisi aktifnya
 - b. irreversibel
 - c. merupakan zat yang mempercepat reaksi enzimatik
 - d. salah satu contohnya adalah pestisida DDT
 - e. strukturnya sangat berbeda dengan substrat
 8. Macam-macam senyawa atau unsur yang memengaruhi kerja enzim, antara lain:
 - 1) DDT
 - 2) Mg^{2+}
 - 3) Paration
 - 4) Antibiotik
 - 5) Penisilin
 - 6) Asam malonat

Yang merupakan inhibitor kompetitif adalah

 - a. 1 dan 2
 - b. 3, 4, dan 5
 - c. 1 dan 6
 - d. 1
 - e. 6
 9. Hasil dari respirasi aerobik dapat berupa
 - a. CO_2 dan H_2O
 - b. CO_2 dan O_2
 - c. H_2O dan O_2
 - d. $C_6H_{12}O_6$ dan O_2
 - e. $C_6H_{12}O_6$ dan ATP
 10. Tahapan respirasi aerobik berturut-turut adalah
 - a. dekarboksilasi oksidatif, glikolisis, siklus Krebs, dan STE
 - b. glikolisis, siklus Krebs, dekarboksilasi oksidatif, dan STE
 - c. glikolisis, dekarboksilasi oksidatif dan siklus Krebs, serta STE
 - d. dekarboksilasi oksidatif, siklus krebs, glikolisis, dan STE
 - e. STE, dekarboksilasi oksidatif, glikolisis, dan siklus Krebs
 11. Enzim yang berperan pertama kali dalam tahapan glikolisis adalah
 - a. heksokinase
 - b. aldolase
 - c. isomerase
 - d. fosfofruktokinase
 - e. triosafosfat dehidrogenase
 12. Berikut merupakan salah satu tahapan pelepasan energi pada glikolisis
 - a. triosafosfat dehidrogenase mengkatalisis pemindahan elektron dan H^+ dari substrat (gliseraldehid fosfat) ke NAD^+ membentuk NADH.

- b. penambahan gugus fosfat pada molekul glukosa dengan bantuan enzim heksokinase dan ion Mg^{2+} sebagai kofaktor.
- c. glukosa 6-fosfat diubah menjadi isomernya yaitu fruktosa 6-fosfat.
- d. aldolase membagi molekul gula (fruktosa 1,6 bisfosfat) menjadi 2 molekul gula berkarbon 3 yang berbeda dan merupakan isomernya, yaitu dihidroksi aseton fosfat dan gliseraldehid fosfat.
- e. fosfofruktokinase mentransfer gugus fosfat dari ATP ke fruktosa 6-fosfat sehingga pada kedua ujungnya terdapat gugus fosfat, membentuk fruktosa 1,6 bisfosfat.
13. Jumlah energi yang dihasilkan pada tahap glikolisis melalui fosforilasi tingkat substrat dan fosforilasi oksidatif adalah
- 1 ATP
 - 2 ATP
 - 6 ATP
 - 36 ATP
 - 38 ATP
14. Jumlah energi total hasil respirasi aerobik dari 2 molekul glukosa adalah
- 38 ATP
 - 76 ATP
 - 16 ATP
 - 4 ATP
 - 28 ATP
15. Berikut adalah persamaan reaksi glikolisis:
 $A + B + 2Pi + 2NAD^+ \rightarrow C + 2H_2O + D + E + 2H^+$
 Senyawa A dan B serta C, D dan E adalah
- dua piruvat dan glukosa serta 2 ADP, 2 ATP, dan 2 NADH
 - glukosa dan 2 ATP serta 2 ADP, 2 NADH, dan 2 piruvat
 - glukosa dan 2 ADP serta 2 piruvat, 2 NADH, dan 2 ATP
 - 2 ATP dan 2 NADH serta glukosa, 2 piruvat, dan 2 ADP
- e. dua piruvat dan 2 ATP serta glukosa, 2 ADP, dan 2 NADH
16. Proses pembentukan ATP pada glikolisis adalah
- fosforilasi tingkat substrat
 - karboksilasi
 - fosforilasi oksidatif
 - fosforilasi tingkat substrat dan fosforilasi oksidatif
 - fosforilasi oksidatif dan karboksilasi
17. Berikut merupakan proses yang terjadi pada saat perubahan fosfoenol piruvat (PEP) menjadi piruvat
- fosforilasi tingkat substrat
 - karboksilasi
 - fosforilasi oksidatif
 - fosforilasi tingkat substrat dan fosforilasi oksidatif
 - fosforilasi oksidatif dan karboksilasi
18. Produk dekarboksilasi oksidatif pada respirasi aerobik adalah
- koenzim A dan asetil Ko-A
 - koenzim A dan CO_2
 - asetil Ko-A dan CO_2
 - piruvat dan asetil Ko-A
 - NADH dan Ko-A
19. Tempat terjadinya reaksi terang adalah . . . dan ditunjukkan pada nomor



- grana, nomor 2
 - grana, nomor 1
 - stroma, nomor 2
 - stroma, nomor 1
 - tilakoid, nomor 3
20. Sebagian besar ATP yang dihasilkan selama respirasi aerobik terjadi pada tahap
- glikolisis

- b. fosforilasi oksidatif pada STE
- c. siklus Krebs
- d. glikolisis dan siklus krebs
- e. dekarboksilasi oksidatif

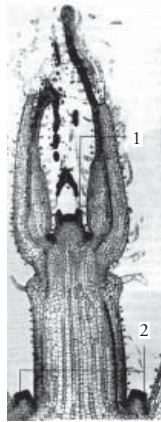
B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. Sebutkan kelompok organisme berdasarkan sumber karbon, sumber energi, dan penerima elektron terakhirnya.
2. Sebutkan 3 sifat glikolisis.
3. Apa yang dimaksud dengan fermentasi? Sebutkan macam-macamnya.
4. Sebutkan hasil akhir dari 4 tahapan yang terjadi pada respirasi aerobik.
5. Mengapa siklus Krebs disebut juga siklus asam trikarboksilat? Jelaskan.
6. Apa yang kalian ketahui tentang:
 - a. stomata
 - b. klorofil
 - c. membran tilakoid
7. Apa yang dimaksud dengan fotoautotrof? Sebutkan contoh organismenya.
8. Apa yang dimaksud kemosintesis?
9. Jelaskan cara fiksasi karbon pada tumbuhan CAM.
10. Jelaskan hubungan antara katabolisme karbohidrat dan katabolisme protein.

Latihan Ulangan Tengah Semester I

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

- Dari manakah embrio biji memperoleh makanan?
 - Mikropil.
 - Endosperm.
 - Kotiledon.
 - Hipokotil.
 - Epikotil.
- Bagian yang mengalami pertumbuhan primer adalah
 - ujung akar dan pangkal akar
 - ujung akar dan ujung batang
 - ujung batang dan pangkal batang
 - ujung akar saja
 - ujung batang saja
- Bagian yang ditunjukkan oleh nomor 1 dan 2 adalah
 - daun dan meristem apikal
 - meristem apikal dan jaringan pembuluh
 - primordia daun dan kuncup ketiak
 - jaringan pembuluh dan kuncup ketiak
 - meristem apikal dan primordia daun
- Pernyataan yang benar tentang pertumbuhan sekunder adalah
 - pertumbuhan kambium ke arah dalam akan membentuk floem sekunder
 - pertumbuhan kambium ke arah luar akan membentuk xilem sekunder
 - felogen terbentuk untuk mengimbangi pertumbuhan oleh aktivitas kambium
 - xilem dan floem sekunder terbentuk untuk mengimbangi pertumbuhan oleh aktivitas kambium
 - lentisel akan pecah karena aktivitas kambium
- Daerah yang mengalami pembelahan sel pada akar terdapat pada bagian
 - ujung, di depan tudung akar
 - ujung tudung akar
 - tengah dari tudung akar
 - ujung, di belakang tudung akar
 - tepi ujung akar
- Klorosis dapat disebabkan oleh defisiensi unsur
 - C, H, dan O
 - S dan P
 - N, Mg, Cl, Fe, dan Co
 - N dan C
 - Cl, Zn, dan P
- Memacu pertumbuhan kalus menjadi kuncup, batang, dan daun merupakan salah satu fungsi hormon
 - sitokinin
 - auksin
 - giberelin
 - asam absisat
 - etilen
- Sebagian besar enzim ditemukan pada
 - vakuola
 - dinding sel
 - mitokondria
 - badan golgi
 - protoplasma
- Pernyataan yang benar tentang enzim adalah
 - enzim pernapasan selalu terdapat di luar sel
 - enzim menyebabkan reaksi kimia yang tidak menghasilkan suhu tinggi
 - enzim yang bekerja di dalam sel disebut enzim ekstraseluler
 - enzim meningkatkan energi yang diperlukan dalam metabolisme
 - enzim-enzim pencernaan termasuk enzim intraseluler



10. Teori *lock and key* menyatakan bahwa
- enzim mempunyai sisi aktif yang mudah menyesuaikan dengan bentuk substratnya
 - sisi aktif enzim bersifat fleksibel
 - substrat sebagai sebuah gembok dengan lubang kunci sebagai sisi aktifnya
 - enzim sebagai gembok dengan lubang kunci sebagai sisi aktifnya
 - substrat (mata kunci) mempunyai struktur yang khas dan cocok dengan lubang kunci (enzim)
11. Energi yang diperlukan untuk memutuskan ikatan pada reaktan disebut energi
- bebas
 - aktivasi
 - kinetik
 - potensial
 - kimia
12. Jika terdapat 100 molekul glukosa, maka akan diubah menjadi asam piruvat sebanyak
- sama dengan jumlah molekul glukosa
 - separuh dari jumlah molekul glukosa
 - 75 molekul asam piruvat
 - 50 molekul asam piruvat
 - 2 kali lipat molekul glukosa
13. Pernyataan berikut yang sesuai dengan respirasi aerobik pada tumbuhan adalah
- respirasi aerobik memerlukan energi
 - seluruh energi yang dihasilkan digunakan untuk aktivitas tumbuhan
 - penguraian glukosa menghasilkan oksigen
 - respirasi aerobik pada tumbuhan memerlukan CO_2
 - energi yang dihasilkan dapat berupa panas
14. Perubahan energi matahari menjadi energi kimia terjadi pada
- reaksi gelap
 - reaksi terang
 - reaksi gelap dan terang
 - fiksasi karbon
 - pembentukan RuBP
15. Pernyataan yang benar tentang reaksi terang adalah
- kompleks antena merupakan tempat reaksi kimiawi pertama kali
 - klorofil pusat reaksi pada fotosistem I disebut P680
 - klorofil pusat reaksi pada fotosistem II disebut P700
 - klorofil a berperan secara langsung
 - terjadi di dalam stroma

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

- Jelaskan arti:
 - perkecambahan
 - enzim
- Apakah perbedaan antara hilum dan mikropil pada biji?
- Apakah peranan gen dalam pengembangan tanaman budidaya?
- Jelaskan pengaruh suhu pada pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.
- Apakah peranan unsur kobalt (Co) pada pertumbuhan tanaman? Berikan salah satu contoh mikroorganisme yang dapat membantu peran tersebut.
- Jelaskan dengan bahasa kalian sendiri tentang cara menguji kerja enzim katalase.
- Sebutkan dan jelaskan 3 macam inhibitor kerja enzim.
- Buatlah persamaan umum dari reaksi glikolisis.
- Bagaimanakah cara fiksasi karbon pada tumbuhan C3 dan C4?
- Apakah yang dimaksud dengan faktor pembatas?

B a b III

Genetika



Seorang ibu yang mempunyai mata sipit dapat melahirkan anak yang juga bermata sipit. Tidak menutup kemungkinan, anak yang dilahirkan dapat juga mempunyai mata lebar seperti yang dimiliki oleh ayahnya. Nah, faktor-faktor yang dapat mempengaruhi munculnya sifat ini terdapat di dalam sel tubuh yang disebut materi genetik. Ilmu yang mempelajarinya disebut genetika. Karena itu, kalian perlu mempelajari lebih lanjut, apa saja dan bagaimanakah materi genetik itu?

Kata Kunci

- Kromosom
- DNA
- Gen
- Double Helix
- Replikasi
- Transkripsi
- Translasi

Kilas

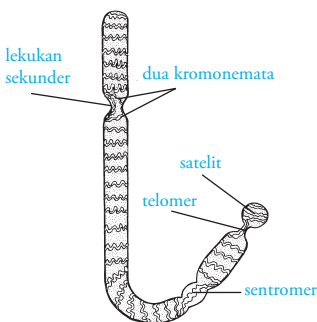
Pada pelajaran biologi kelas XI tentang struktur sel, disebutkan bahwa nukleus atau inti sel merupakan organel yang terdapat di dalam sel yang memegang peranan penting sebagai pusat koordinasi dari kegiatan sel.

Galeri

Sejarah Penemuan Kromosom

Flemming (1879) adalah orang yang pertama kali melihat adanya benda yang membelah di dalam sel. Roux (1883), menduga bahwa benda-benda tersebut terlibat dalam pembentukan individu keturunan. Akhirnya, Waldeyer (1888) adalah orang yang pertama kali memberi nama benda tersebut kromosom (Latin, *krom* = warna dan *soma* = tubuh).

Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 1, hlm. 120



Gambar 3.1 Bagian-bagian kromosom

Pada bab berikut, kalian akan mempelajari materi genetik (meliputi kromosom, DNA, RNA, dan gen) serta mempelajari tahapan sintesis protein.

Dengan mempelajarinya, kalian diharapkan dapat menjelaskan perbedaan antara kromosom, DNA, RNA, dan gen meliputi struktur, fungsi, dan hubungan antara ketiganya. Selain itu, kalian diharapkan dapat menjelaskan tahapan dalam sintesis protein meliputi replikasi, transkripsi dan translasi.

A. Materi Genetik

Apakah kalian masih ingat struktur nukleus? Nukleus sel eukariotik seperti sel-sel hewan dan tumbuhan tingkat tinggi mempunyai membran inti. Sementara itu, nukleus sel prokariotik seperti sel bakteri tidak bermembran.

Di dalam nukleus dijumpai beberapa materi genetik yang berperan di dalam pewarisan sifat. Artinya, materi genetik tersebut akan diturunkan pada individu keturunannya. Materi genetik tersebut meliputi kromosom, DNA, RNA, dan gen.

1. Kromosom

Di dalam inti sel terdapat benang-benang kromatin (jika sel sedang tidak membelah). Struktur kromatin seperti jala, tersusun atas benang-benang halus yang dapat menyerap zat warna. Jika sel sedang membelah (pembelahan sel akan dibahas pada bab selanjutnya), benang-benang kromatin ini memendek dan menebal membentuk struktur yang disebut **kromosom**. **Feulgen** melakukan teknik pewarnaan ungu pada kromosom untuk memudahkan pengamatan kromosom.

Di dalam sel, kromosom mempunyai bentuk maupun jumlah yang bermacam-macam. Nah, agar kalian dapat mempelajari kromosom secara lengkap, simaklah uraian berikut ini.

a. Struktur Kromosom

Makhluk hidup yang ada di alam ini tidak semuanya mempunyai struktur kromosom yang sama dengan kromosom manusia. Bakteri dan virus mempunyai kromosom sirkuler (membulat).

Kromosom mempunyai 2 bagian utama yaitu sentromer (kinetokor) dan lengan.

1) Sentromer (Kinetokor)

Sentromer disebut juga bagian kepala kromosom. Bagian ini berfungsi sebagai tempat melekatnya benang-benang gelendong pembelahan pada waktu sel membelah.

2) Lengan

Kromosom dapat mempunyai satu buah lengan atau dua buah lengan, bahkan ada yang tidak mempunyai lengan. Kromosom dengan dua lengan dapat mempunyai lengan yang sama panjang atau berbeda panjangnya (lengan yang satu panjang dan lengan

yang lain pendek). Bagian lengan berisi cairan yang dinamakan matriks. Pada matriks tersebut terdapat benang halus atau pita berbentuk spiral yang disebut **kromonema** (jamak = **kromonemata**). Perhatikan Gambar 3.1. Penebalan dari kromonema ini disebut **kromomer**. Ada yang menganggap kromomer tersebut sebagai **nukleoprotein**. Di daerah tertentu pada lengan kromosom terbentuk lekukan sekunder. Lekukan sekunder berfungsi sebagai tempat terbentuknya anak inti atau nukleolus.

Pada daerah ujung kromosom (ujung lengan) terdapat bagian yang disebut **telomer**. Fungsi bagian ini untuk mencegah agar kromosom satu dan yang lain tidak berlekatan. Pada beberapa kromosom terdapat bentuk bulat di bagian ujung lengannya, disebut **satelit**.

b. Jumlah dan Tipe Kromosom

Menurut **Benden** dan **Boveri** (1887), jumlah kromosom pada setiap jenis organisme berbeda-beda, namun bersifat tetap (konstan). Jumlah kromosom tiap jenis organisme menunjukkan banyaknya kromosom yang ada pada sebuah sel organisme tersebut.

Tubuh organisme bersel banyak (multiseluler), mempunyai 2 jenis kelompok sel yaitu sel somatis (sel tubuh) dan sel gamet (sel kelamin). Jumlah kromosom pada sel gamet (sel kelamin) adalah separuh dari jumlah kromosom yang ada pada sel somatis (sel tubuh). Dengan demikian, sel gamet bersifat **haploid** (n kromosom) dan sel somatis bersifat **diploid** ($2n$ kromosom). Berdasarkan jenis selnya, kromosom dibedakan menjadi 2 tipe, yaitu kromosom sel tubuh (**autosom**) dan kromosom sel kelamin (**gonosom**).

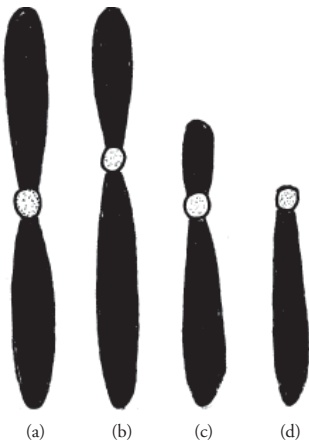
Kromosom autosom pada organisme jantan dan betina adalah sama. Kromosom autosom tidak menentukan jenis kelamin (penentuan jenis kelamin akan dibahas pada bab hereditas). Kromosom seks (gonosom) pada organisme jantan berbeda dengan kromosom organisme betina. Kromosom ini disebut juga kromosom jenis kelamin. Organisme yang normal memiliki kromosom seks sepasang (2 buah) saja.

Jumlah kromosom sel somatis tumbuhan, hewan, dan manusia berbeda satu sama lain. Pada mamalia misalnya, sel somatis (diploid) manusia mengandung 46 buah kromosom, sedangkan gorila 48 kromosom. Perhatikanlah Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Jumlah Kromosom Berbagai Organisme

No	Kelompok Organisme	Nama Organisme	Jumlah Kromosom (buah)
A.	Hewan (Animalia)		
1.	Protozoa	Amoeba	50
2.	Coelenterata	Hidra	32
3.	Mollusca	Bekicot	54
4.	Arthropoda	Lalat buah	8
		Nyamuk	6
5.	Pisces	Ikan mas	100
6.	Amphibi	Katak	26
7.	Aves	Ayam	78
		Itik	80
8.	Mammalia	Kelinci	44
		Kucing	38
		Anjing	78
		Keledai	62
		Kambing	60
		Domba	54
		Kera	42
		Gorila	48
		Manusia	46
B.	Tumbuhan (Plantae)		
1.	Gymnospermae	Pinus	24
2.	Angiospermae	Bawang merah	16
		Kentang	48
		Tembakau	48
		Padi	24
		Jagung	20
		Tebu	80

Suryo, Genetika Manusia, hlm. 7-8 (dengan pengembangan)



Gambar 3.2
 (a) Metasentris
 (b) Sub metasentris
 (c) Akrosentris
 (d) Telosentris

c. Bentuk Kromosom

Berdasarkan letak sentromernya, bentuk kromosom dikelompokkan menjadi empat, yaitu:

1) Metasentris

Kromosom ini memiliki 2 buah lengan yang sama panjang, sentromernya tepat ada di tengah (Gambar 3.2a).

2) Submetasentris

Lengan kromosom tidak sama panjang, sentromer terletak tidak di tengah. Sentromer agak mendekati ujung salah satu lengan kromosom. Sentromer berada di daerah submedian (Gambar 3.2b).

3) Akrosentris

Sentromernya mendekati salah satu ujung lengan kromosom (sub terminal). Lengan yang satu, jauh lebih panjang dari lengan kromosom yang lain (Gambar 3.2c).

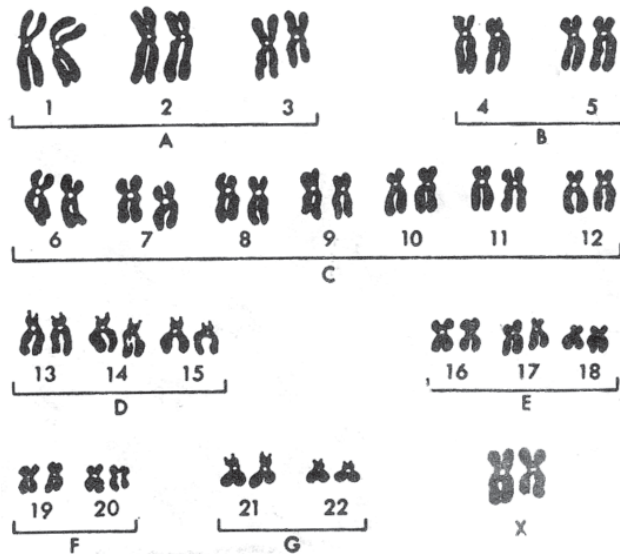
4) Telosentris

Kromosom ini hanya memiliki sebuah lengan karena sentromernya terletak pada ujung salah satu lengan kromosom (Gambar 3.2d).

d. Ukuran Kromosom

Spesies yang berbeda memiliki ukuran kromosom yang berbeda. Pada umumnya, kromosom sel tumbuhan lebih besar dibanding kromosom sel hewan. Ukuran kromosom tersebut kadang-kadang berhubungan dengan jumlah kromosom. Apabila jumlah kromosomnya sedikit, biasanya kromosomnya lebih panjang. Rata-rata ukuran panjang kromosom adalah $0,2 - 0,5\mu$ dengan diameter $0,2 - 20\mu$.

Gambar 3.3 Karyotipe kromosom manusia (wanita) dengan 23 pasang kromosom. No 1-22 : pasangan autosom. No 23 : kromosom seks



Suryo, Genetika Manusia, hlm. 16

Berdasarkan ukuran (panjang), jumlah, dan bentuk kromosom maka kromosom sel somatis dapat disusun atau diatur secara standar. Hasil penyusunan ini disebut **karyotipe**. Perhatikanlah karyotipe kro-

mosom manusia yang mempunyai 46 kromosom (23 pasang) pada Gambar 3.3. Bukankah dalam 1 sel, ukuran kromosom dapat beraneka ragam?

e. Genom (Ploid)

Di depan telah dipelajari tentang contoh karyotipe manusia. Sel manusia mempunyai kromosom sebanyak 46 buah atau 23 pasang kromosom. Setiap pasang kromosom terdiri dari 2 buah kromosom yang membentuk pasangan homolog. Dapat dikatakan bahwa sel tubuh manusia memiliki 23 pasang atau 23 macam kromosom homolog. Jumlah atau keseluruhan set atau perangkat dari bermacam-macam homolog tersebut dinamakan **genom** atau **ploid**. Setiap macam homolog terdiri dari 2 buah kromosom, artinya sel tubuh (sel somatis) manusia terdiri dari 2 set kromosom sehingga disebut diploid (biasa ditulis $2n$).

Apakah kalian mengetahui cara mencari jumlah kromosom sel gamet? Sel gamet (sel telur dan sel sperma) memiliki separuh jumlah kromosom sel tubuh (sel somatis). Jika sel somatis manusia memiliki 46 buah kromosom, maka sel telur manusia memiliki 23 buah kromosom, yang terdiri dari 22 kromosom autosom dan 1 kromosom seks. Demikian pula pada sel sperma manusia. Setiap pasangan homolog sel somatis (sel tubuh) membelah menjadi 2, sehingga sel gamet memiliki 23 buah kromosom dimana setiap macamnya hanya terdiri dari satu buah kromosom saja. Dengan demikian, sel gamet (sel kelamin) hanya memiliki satu set atau satu perangkat kromosom dan disebut haploid (biasa ditulis n).

Agar kalian dapat memahami tentang kromosom, lakukan tugas di rubrik *Percobaan* berikut ini.

Percobaan

Menganalisis Kromosom Manusia

A. Dasar Teori

Berdasarkan letak sentromernya, bentuk kromosom dibedakan menjadi kromosom metasentrik, submetasentrik, telosentrik, dan akrosentrik. Berdasarkan ukuran (panjang), jumlah, dan bentuk kromosom maka kromosom sel somatis dapat disusun atau diatur secara standar. Hasil penyusunan ini disebut karyotipe. Kromosom manusia mempunyai 46 kromosom (22 pasang kromosom tubuh dan 1 pasang kromosom kelamin).

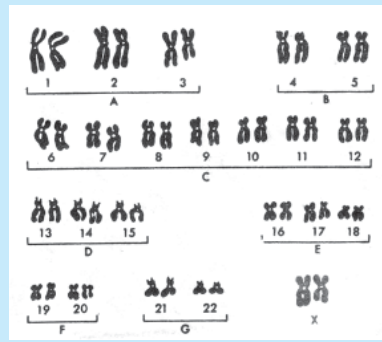
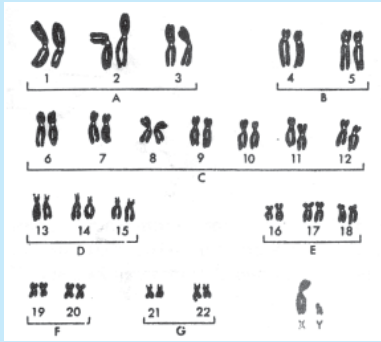
B. Tujuan

Mengetahui bentuk-bentuk dan ukuran kromosom pada manusia dari karyotipe.

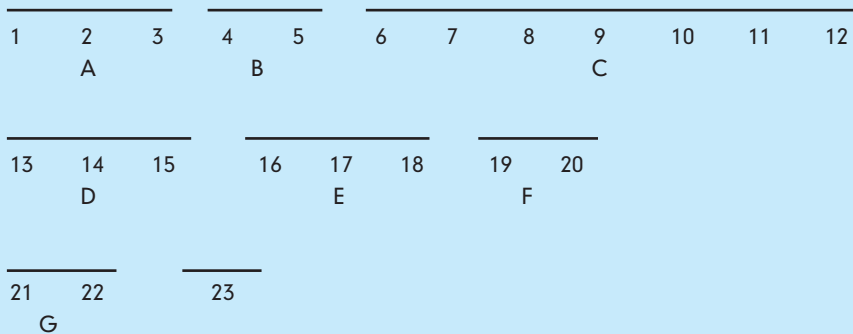
C. Alat dan Bahan

1. Gambar, foto atau scan karyotipe manusia
2. Gunting
3. Lem

D. Cara Kerja



1. Perhatikan letak sentromer dari setiap kromosom yang ada.
2. Kromosom manusia menurut gambar dibedakan menjadi 7 kelompok (lihat gambar). Berdasarkan ukurannya ada kelompok besar, kelompok medium, dan kelompok kecil.
3. Guntinglah setiap pasangan kromosom yang ada di atas (guntinglah gambar karyotipe yang kalian miliki), kemudian letakkan pada garis yang telah disediakan tepat pada bagian sentromernya.



4. Berdasarkan hasil cara kerja 3, lengkapi tabel berikut.

Kelompok	No pasangan homolog	Ukuran	Nama bentuk kromosom *
A	1, 2, 3	Besar	.....
B
C
D
E
F
G

* : Pilih satu diantaranya : metasentrik, sub metasentrik, akrosentrik dan telosentrik.

E. Pembahasan

1. Apakah semua bentuk kromosom dapat kalian temukan?
2. Perhatikan kromosom-kromosom tersebut. Adakah kromosom yang tidak berpasangan? Jelaskan.
3. Apakah letak atau susunan kromosom dalam tubuh manusia berjajar dan berpasangan seperti pada karyotipe tersebut?
4. Diskusikan dan jelaskan di depan kelas.

f. Komponen Kromosom

Di dalam sel, setiap kromosom berpasang-pasangan dengan kromosom lain yang identik, sehingga disebut **kromosom homolog**. Setiap pasang kromosom tersebut merupakan pasangan kromosom homolog.

Kromosom mempunyai komponen utama, antara lain: DNA (*Deoxyribo Nucleic Acid* atau *asam nukleat deoksiribosa*), protein histon, dan protein non histon. Protein histon bersifat basa kuat dan menetralkan keasaman DNA. Lalu, apa hubungan antara histon dengan DNA?

Histon adalah protein berbentuk seperti manik-manik yang membentuk untaian. DNA melipit atau mengelilingi kumpulan histon (setiap 8 histon) tersebut dan membentuk ikatan dengan histon. Kumpulan manik-manik histon yang dikelilingi oleh DNA ini membentuk struktur disebut **nukleosom**. Setiap nukleosom tersusun oleh 8 manik dengan 1 atau 2 lilitan DNA. DNA dan protein histon tersebut terdapat pada bagian kromomer.

Sebenarnya, apakah DNA itu? Simaklah uraian selanjutnya.

2. DNA

Di dalam kromosom sel eukariotik, selain materi genetik DNA (*Deoxyribo Nucleic Acid*), terdapat juga RNA (*Ribo Nucleic Acid*). Kedua materi genetik tersebut dikenal sebagai asam inti atau asam nukleat.

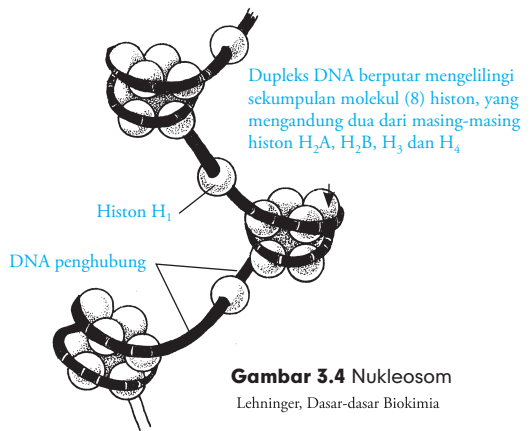
Berkat penemuan **Alfred dan Marta Chase** (1952), diketahui bahwa DNA lah yang membawa dan menyimpan informasi genetik sel. Jumlah dan jenis informasi di dalam setiap sel (tiap sebuah sel) sangat banyak. DNA sebagai penyimpan informasi genetik adalah material kromosom.

a. Sifat dan fungsi DNA

Selain di dalam nukleus, DNA dapat ditemukan pada organel mitokondria, plastida, dan sitoplasma (dalam jumlah yang sedikit).

DNA merupakan komponen yang ditemukan secara eksklusif di dalam kromosom dan mempunyai sifat dan fungsi, antara lain:

- 1) Merupakan material kromosom sebagai pembawa informasi genetik, melalui aktivitas pembelahan sel (lihat point 3).
- 2) Tebalnya 20 \AA (Amstrong) dan panjangnya beribu-ribu \AA ($1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ meter).
- 3) Dapat melakukan replikasi, yaitu membentuk turunan atau menggandakan diri. DNA hasil replikasi (DNA anak) memiliki urutan basa yang identik dengan yang dimiliki oleh heliks ganda parental (DNA induk).
- 4) Pada sel organisme prokariotik (bakteri), DNA berantai tunggal. Pada sel eukariotik, DNA berupa heliks (rantai) ganda.



Gambar 3.4 Nukleosom
Lehninger, Dasar-dasar Biokimia

Galeri

Sejarah Penemuan DNA Double Helix



Penemuan DNA dimulai sejak ditemukannya senyawa nuklein pada inti sel leukosit oleh Miescher (tahun 1868). Senyawa ini sekarang disebut sebagai DNA (*Deoxyribo Nucleic Acid*). Tahun 1940, Chargaff menemukan susunan basa pada DNA yaitu basa purin (guanin dan adenin), serta basa pirimidin (sitosin dan timin). Tahun 1943, Oswald T. Avery, Colin MacLeod, dan MacLyn, serta Alfred D. Hershey dan Marta Chase (tahun 1952), menyatakan bahwa DNA adalah pembawa informasi genetik. Akhirnya pada tahun 1953, penemuan James Watson (ahli genetika dari Amerika) dan Francis Crick (dokter dari Inggris) mencengangkan dunia. Keduanya melakukan penelitian bersama-sama di Universitas Cambridge dan menemukan struktur DNA sebagai pita *double helix* (heliks ganda) yang terpilin ke arah kanan.

Lehninger, Dasar-dasar Biokimia

- 5) Pada suhu mendekati titik didih atau pada pH yang ekstrim (kurang dari 3 atau lebih dari 10), DNA mengalami **denaturasi** (membuka). Jika lingkungan dikembalikan seperti semula, DNA dapat kembali membentuk heliks ganda, disebut **renaturasi**.

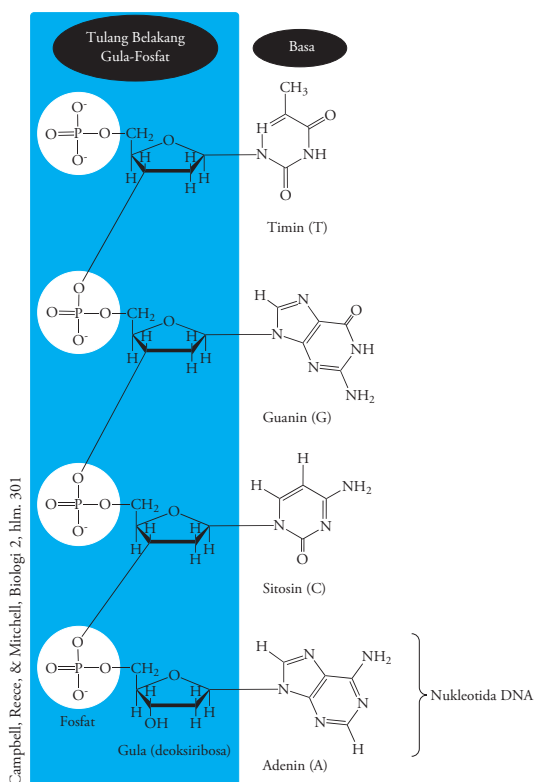
b. Struktur Kimia DNA

DNA dan RNA tersusun oleh nukleotida-nukleotida yang saling terpaut membentuk polinukleotida yang amat panjang. DNA merupakan molekul yang besar (makromolekul) dan terdiri dari dua rantai polinukleotida yang saling berikatan. Setiap nukleotida tersusun atas 3 komponen, antara lain: sebuah basa nitrogen, sebuah gula pentosa yaitu deoksiribosa, dan satu gugus fosfat.

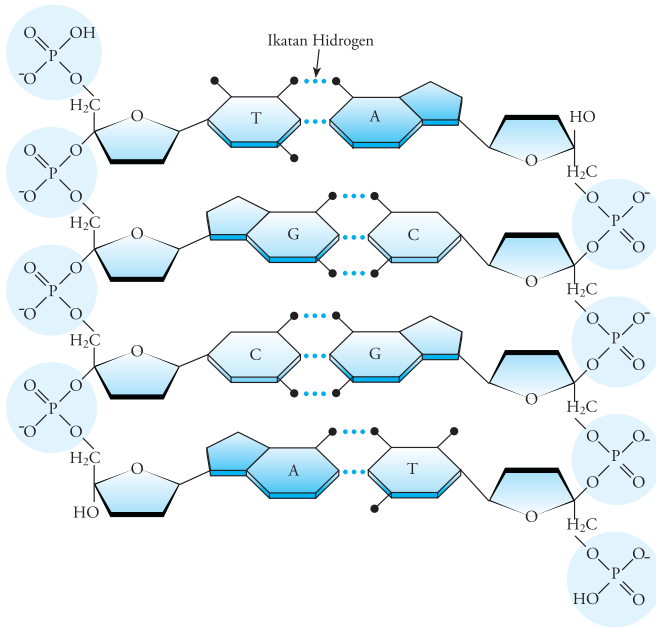
Basa nitrogennya meliputi basa purin dan basa pirimidin. Basa purin meliputi guanin (G) dan adenin (A), basa pirimidin meliputi sitosin (C) dan timin (T). Basa nitrogen purin dari heliks, yang satu berpasangan dengan basa pirimidin dari heliks yang lain membentuk struktur yang disebut *double helix* (heliks atau rantai ganda). Perhatikan Gambar 3.5. Struktur tersebut disebut juga “rantai ganda Watson-Crick” karena ditemukan oleh **James Watson** dan **Francis Crick**. Jika

basa purinnya adalah adenin maka pirimidinnya timin (membentuk ikatan ganda A=T), jika basa purinnya guanin maka pirimidinnya sitosin (membentuk ikatan rangkap tiga G ≡ S). Oleh karena itu, untaian rantai ganda bersifat komplementer (basa nitrogen pada rantai yang satu merupakan pasangan basa nitrogen pada rantai lainnya). Pada virus bakteriofag T2 (fag T2) tidak terdapat basa sitosin, melainkan basa pirimidin yang menyerupai sitosin.

Basa purin pada heliks satu dengan pirimidin heliks pasangannya dihubungkan oleh ikatan hidrogen. Pada heliksnya, basa nitrogen berikatan dengan gula pentosa deoksiribosa. Gula pentosa tersebut mengikat gugus fosfat. Basa nitrogen, gula deoksiribosa, dan gugus fosfat membentuk satu molekul nukleotida (Gambar 3.6). Nah, gugus fosfat tersebut menghubungkan antara nukleotida satu dengan yang lain dalam satu rantai atau heliks yang sama. Apabila rantai ganda DNA dapat diibaratkan sebagai sebuah tangga maka ikatan basa purin dengan pirimidin sebagai anak tangganya, sedangkan gula deoksiribosa beserta fosfatnya sebagai ibu tangganya.



Gambar 3.5 Struktur sebuah heliks DNA (sebuah untaian DNA).



Gambar 3.6 Rantai ganda DNA

- = gugus fosfat ⬡ = deoksiribosa
 ⬢ = basa nitrogen, A = Adenin,
 G = guanin
 S = C = Sitosin
 T = Timin

Menurut **Chargaff** (1940), jumlah adenin (A) = timin (T) dan jumlah guanin (G) = sitosin (C).

Data sinar X **Rosalind Franklin**, heliks ganda DNA membentuk satu putaran penuh setiap 3,4 nm panjang heliks ganda. Jarak antara pasangan nukleotida satu dengan nukleotida berikutnya adalah 0,34 nm. Dengan demikian, jumlah pasangan nukleotida setiap satu putaran penuh adalah 10 nukleotida. Perhatikan Gambar 3.7a.

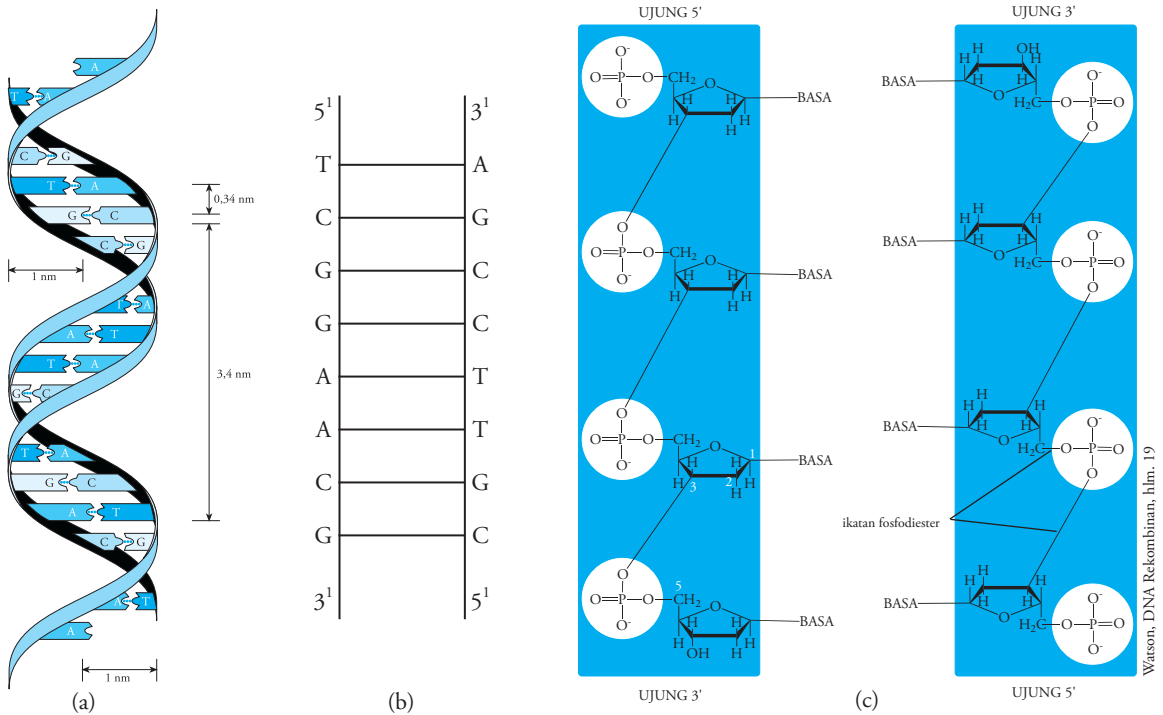
Nah, agar kalian dapat memahami tentang nukleotida DNA, ikuti rubrik *Diskusi* berikut.

Diskusi

Hitunglah berapa panjang DNA, jika diketahui DNA manusia mempunyai 2×10^8 (dua ratus juta) pasangan basa? Ingat, berapakah jarak antara nukleotida satu dengan nukleotida berikutnya? Kalian dapat mendiskusikan dengan teman kalian.

Bagan skematis rantai ganda DNA dapat disederhanakan dengan menggambar gugus fosfat dan deoksiribosa pada sebuah garis. Huruf-huruf yang ada menggambarkan macam basa nitrogennya. Perhatikan Gambar 3.7b.

Nukleotida yang satu dengan nukleotida yang lain berhubungan satu sama lain melalui ikatan fosfodiester. Ikatan atau hubungan tersebut selalu sama. Artinya, gugus fosfat mengikat residu deoksiribosa pada atom karbon nomor 5 ($5'$ = primer) dan atom karbon nomor 3 ($3'$ = 3 primer) pada residu deoksiribosa nukleotida berikutnya. Oleh karena itu, polinukleotida DNA merupakan molekul-molekul yang linear. Perhatikan Gambar 3.7c.



Gambar 3.7 (a) *Double helix* DNA secara skematis, (b) *Double helix* DNA sederhana, (c) Ikatan fosfodiester DNA

Setelah kalian mempelajari tentang DNA, berikut ini ulasan tentang jenis asam nukleat yang lain yaitu RNA.

3. RNA

Pada akhir abad ke-19, telah ditemukan bahwa sel memiliki asam nukleat yang disebut ribonukleat atau *Ribonucleic Acid* (RNA). RNA mempunyai beberapa ciri yang berbeda dengan DNA.

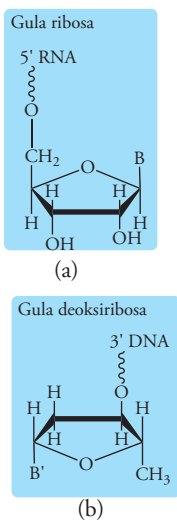
a. Susunan kimia RNA

Seperti pada DNA, RNA juga merupakan polinukleotida. Jika pada DNA, komponen gula berupa deoksiribosa, komponen gula RNA berupa gula ribosa. Perhatikan Gambar 3.8. Dua purin dan dua pirimidin juga ditemukan pada RNA, tetapi basa pirimidin timin tidak ditemukan, melainkan berupa pirimidin urasil.

Molekul RNA dapat berupa:

- 1) Rantai tunggal, contoh: pada virus tumbuhan (TMV atau virus mosaik tembakau), virus hewan (influenza), dan bakteriofag (MS_2).
- 2) Rantai ganda tidak berpilin, contoh: pada virus tumbuhan (reovirus).

RNA dapat dibentuk oleh DNA, karena di dalam DNA kromosom terdapat sandi-sandi yang berperan dalam pembentukan RNA. Sintesis RNA tersebut melibatkan enzim RNA polimerase.



Gambar 3.8 Perbedaan komponen ribosa dan deoksiribosa (a) RNA (b) DNA

b. Macam-macam dan Fungsi RNA

Berdasarkan tempat terdapat dan fungsinya, RNA dibedakan menjadi RNA m (RNA messenger), RNA r (RNA ribosom), dan RNA t (RNA transfer).

1) RNA m (RNA messenger)

RNA m disebut juga RNA duta (RNA d) atau RNA kurir. Menurut **Francois Jacob** dan **Monod** (1961), setelah RNA dibentuk oleh DNA di dalam inti, RNA m membawa cetakan-cetakan ke sitoplasma dan bergerak di atas ribosom. RNA m menempatkan kode genetik berupa 3 urutan basa nitrogen kodon-kodonna berturut-turut di ribosom untuk menyusun asam amino. RNA m ini dibentuk pada saat sel hendak melakukan sintesis protein. Macam RNA m yang dibentuk oleh DNA tergantung jenis protein yang akan disusun. Oleh karena itu, RNA m ini dapat ditemukan di dalam inti sel dan di sitoplasma. RNA m merupakan molekul untai tunggal. RNA m ini membawa informasi genetik dari DNA ke ribosom.

2) RNA r (RNA ribosom)

RNA r dibentuk dari prekursor yang disebut RNA pra ribosom, mempunyai berat molekul sekitar 2 juta, dan merupakan molekul paling besar dibandingkan RNA m dan RNA t. RNA ribosom mengandung 50 – 2.000 asam amino. Bersama-sama dengan protein, RNA ini akan membentuk struktur ribosom yang mengatur proses translasi.

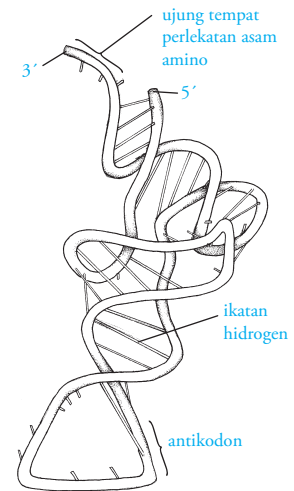
3) RNA t (RNA transfer)

RNA t disebut RNA pemindah dan merupakan RNA yang terpendek. Fungsi RNA t adalah menerjemahkan kode-kode (kodon) yang dibawa oleh RNA m. Hasil terjemahan ini berupa deretan basa nitrogen yang sesuai dengan kodon yang ada pada RNA d atau RNA m. RNA t membawa pasangan kodon pada RNA m, sehingga disebut **antikodon** (Gambar 3.9). RNA t juga membawa asam amino yang sesuai dengan kodon-kodon RNA d atau RNA m.

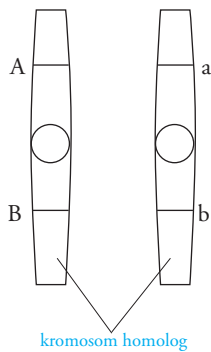
4. Hubungan Gen dengan Kromosom, DNA, dan RNA

Pada akhir abad ke-19, pembahasan dan pernyataan tentang gen mulai dikemukakan oleh Mendel (kalian akan mempelajarinya pada bab Hereditas). Mendel melaporkan hasil percobaannya, bahwa sifat-sifat yang ada pada individu ditentukan oleh sepasang unit. Anggota dari sepasang unit itu diturunkan oleh setiap induk (orang tua) kepada individu keturunannya pada proses pewarisan sifat (akan dibahas pada bab Pembelahan Sel).

Pada tahun 1900, **W.L. Johanssen** mengusulkan nama untuk “unit” (yang disampaikan Mendel) tersebut sebagai gen. Semenjak itu, penelitian terus berjalan semakin pesat. Akhirnya pada tahun 1903, Sutton dan Boveri mengeluarkan pernyataan bahwa sebenarnya gen-gen itu dibawa oleh kromosom.



Gambar 3.9 RNA t dan bagiannya



Gambar 3.10
Pasangan alel dalam kromosom

Gen adalah unit genetik yang terdapat di dalam kromosom. Dalam satu kromosom terdapat ribuan bahkan puluhan ribu gen. Gen-gen tersebut terdapat di dalam DNA dan merupakan segmen dari DNA yang berperan dalam menentukan sifat individu. Dengan mikroskop elektron, gen tidak akan nampak melainkan struktur berupa asam nukleat *Deoxyribo Nucleic Acid* (DNA). Oleh karena itu, gen adalah nama fungsional, sedangkan DNA adalah nama strukturalnya.

Di dalam kromosom, gen-gen menempati suatu lokasi yang spesifik disebut **lokus gen**. Gen-gen itu terletak berderet di sepanjang kromosom. Pada tahun 1982, berhasil dilaporkan letak gen pada kromosom manusia.

Suatu sifat dikendalikan oleh sepasang gen. Anggota dari pasangan gen disebut sebagai **alel** (Gambar 3.10), dimana satu alel diperoleh dari induk jantan dan yang lain dari induk betina. Pasangan alel tersebut merupakan penentu dari suatu sifat. Alel dinyatakan dengan bentuk huruf. Huruf yang dipilih biasanya huruf terdepan dari sifat yang dominan. Sifat dominan ditulis dengan huruf kapital. Misalnya, menuliskan sifat manis pada mangga yang dominan dengan sifat masam, maka alel penentu manis dinyatakan dengan alel M dan sifat masam dengan alel m. Sifat manis dinyatakan dominan, artinya sifat manis ditentukan oleh alel dominan M. Apabila alel dominan M berpasangan dengan alel dominan M, membentuk genotip MM (sifat manis). Namun, jika alel dominan M berpasangan dengan alel resesif m maka genotipnya Mm (sifat manis). Genotip mangga masam adalah mm. Mangga dengan genotip MM dan Mm memiliki fenotip yang sama, yaitu rasanya manis. Mangga dengan genotip mm memiliki fenotip rasanya masam.

Jika gen tersebut dua alel dominan, maka disebut **gen homozigot dominan**. Jika dibentuk oleh dua alel resesif, maka disebut **gen homozigot resesif**. Sementara itu, jika gen dibentuk oleh sebuah alel dominan dan sebuah alel resesif maka disebut **gen heterozigot**.

Susunan genetik suatu sifat (karakter) yang dikandung individu disebut **genotip**. Genotip dinyatakan dengan sepasang huruf untuk setiap sifat. Pasangan huruf dapat disusun oleh 2 huruf yang sama, dapat pula disusun oleh 2 huruf yang berbeda. Genotip yang dinyatakan dengan 2 huruf yang sama, menunjukkan sifat homozigot. Apabila 2 huruf tersebut berbeda menunjukkan sifat heterozigot.

Fenotip adalah bentuk luar atau sifat individu yang dapat ditangkap oleh panca indera kita. Contoh rambut hitam, rasa asin, warna merah, suaranya keras, kulitnya kasar, tubuhnya gemuk, matanya sipit dan lain-lainnya.

Selanjutnya, lakukanlah rubrik *Telisisik* dan *Uji Kompetensi* berikut.

Telisisik

Membuat Model DNA dan RNA serta Membedakan Keduanya

1. Cermati kembali uraian tentang DNA dan RNA. Kalian dapat mencari informasi tentang DNA dan RNA dari buku lain.
2. Carilah foto atau gambar struktur DNA dan RNA baik melalui internet atau buku yang mendukung. Foto atau gambar dapat berupa rantai ganda terpilin atau tidak dan dilengkapi dengan basa nitrogennya.

- Buatlah model DNA dan RNA bersama kelompok kalian di luar kelas (di rumah) sehingga diperoleh struktur seperti pada gambar atau foto struktur DNA dan RNA. Bahan yang dapat kalian pakai adalah kayu, bambu, kawat, dan manik-manik bulat.
- Buat dan lengkapilah tabel perbedaan antara DNA dengan RNA berikut.

No	Komponen	DNA	RNA
1.	Gula	Deoksiribosa	.....
2.	Basa nitrogen (a) purin (b) pirimidin	..... dan timin dan	adenin dan dan
3.	Heliks polinukleotida	(a) ganda berpilin (b) ukuran	(a) (b)
4.	Terdapatnya	di (a) (b) (c)	(a) (b)

- Kumpulkan model DNA dan RNA yang telah kalian buat dan diskusikan dengan teman kalian. Jelaskan tentang hasil pada tabel di atas di depan gurumu.

Uji Kompetensi

Kerjakanlah soal-soal berikut ini.

- Bedakanlah maksud dari:
 - Gen
 - DNA
 - Kromosom
- Apakah fungsi dari gen, RNA, DNA, dan kromosom?
- Jelaskan sifat-sifat dari DNA.
- Jelaskan hubungan antara gen, DNA, RNA, dan kromosom.
- Sebutkan dan jelaskan macam dan fungsi RNA.
- Sebutkan bagian-bagian dari struktur kromosom.
- Apa yang dimaksud dengan kromosom homolog?
- Jelaskan yang dimaksud dengan gen homozigot dominan dan gen homozigot resesif. Berikan contoh masing-masing.
- Apa yang dimaksud dengan karyotipe?
- Gambarkan rantai ganda DNA sederhana beserta pasangan basa nitrogennya.

B. Sintesis Protein

Proses sintesis atau pembentukan protein memerlukan adanya molekul RNA yang merupakan materi genetik di dalam kromosom, serta DNA sebagai pembawa sifat keturunan. Informasi genetik pada *double helix* DNA berupa kode-kode sandi atau kode genetik. Nah, kode-kode sandi tersebut nantinya akan dibawa atau dicetak untuk membentuk RNA. Informasi berupa urutan kode-kode sandi pada RNA akan dirangkai menjadi asam-asam amino, peptida, polipeptida, sampai terbentuk protein.

Kilas

Pada pelajaran biologi kelas XI tentang sistem pencernaan makanan, protein merupakan senyawa organik berukuran besar yang tersusun oleh monomer-monomer berupa asam amino. Asam amino yang satu dengan asam amino yang lain membentuk molekul peptida. Peptida-peptida tersebut akhirnya membentuk polipeptida yang kemudian membentuk protein.

Protein-protein yang terbentuk akan menyusun sebagian besar komponen di dalam tubuh. Contoh protein sebagai komponen penyusun tubuh adalah miosin, aktin, keratin, kolagen, hemoglobin, dan insulin.

Variasi dari 20 macam asam amino yang ada, dapat membentuk protein yang berbeda-beda. Oleh karena itu, setiap individu akan mempunyai bermacam-macam protein yang berbeda pula satu sama lain. Lalu, bagaimana hubungan sintesis protein dengan sifat-sifat individu? Nah, seperti telah disebutkan sebelumnya, protein akan menyusun komponen tubuh. Setiap komponen yang berbeda tentunya akan menghasilkan sifat dan fungsi yang berbeda pula. Dengan demikian, protein dikatakan dapat mengekspresikan sifat pada individu. Sebagai contoh, individu yang mempunyai kadar hemoglobin yang rendah akan menunjukkan sifat atau ciri yang berbeda dengan individu yang berkadar hemoglobin tinggi. Apa sajakah tahapan dalam sintesis protein?

1. Tahapan Sintesis Protein

Pada tahun 1950, **Paul Zamecnik** melakukan percobaan untuk mengetahui tahapan dan tempat terjadinya sintesis protein. Paul menginjeksikan asam amino radioaktif ke tubuh tikus dan berhasil menjelaskan tempat terjadinya sintesis protein, yaitu di dalam ribosom. Selanjutnya, penelitian dilakukan bersama dengan **Mahlon** dan menyimpulkan bahwa molekul RNA pemindah (RNA t) berperan dalam sintesis protein. Akhirnya, Francis Crick menemukan bahwa RNA pemindah harus mengenali urutan nukleotida untuk disusun sebagai asam amino sesuai pemesanan, yang kemudian dibawa oleh RNA pembawa pesan.

Tahapan sintesis protein mengikuti aturan dogma sentral, dimana informasi genetik dipindahkan dari DNA ke DNA melalui tahap replikasi. Dari DNA ke RNA melalui tahap transkripsi. Selanjutnya dari RNA ke protein melalui sintesis protein.

Sebelum terjadi sintesis protein, DNA pada struktur nukleosom akan lepas dari protein histon oleh bantuan kerja enzim polimerase. Secara umum, proses sintesis protein meliputi tiga tahapan utama, antara lain:

a. Replikasi DNA

Setiap sel dapat memperbanyak diri dengan cara membelah. Sebuah sel membelah menjadi 2 sel, 2 sel membelah menjadi 4 sel, 4 sel membelah menjadi 8 sel dan seterusnya. Sebelum sel membelah, terjadi perbanyakan komponen-komponen di dalam sel termasuk DNA. Perbanyakan DNA dilakukan dengan cara replikasi. Dengan demikian, **replikasi** adalah proses pembuatan (sintesis) DNA baru atau penggantian DNA di dalam nukleus. Pada saat replikasi berlangsung, DNA induk membentuk kopian DNA anak yang sama persis sehingga DNA induk berfungsi sebagai cetakan untuk pembentukan DNA baru.

Setelah Watson dan Crick menemukan model DNA yang berupa heliks ganda terpilin pada tahun 1953, munculah 3 macam hipotesis tentang cara atau model DNA bereplikasi (Gambar 3.11), antara lain:

1) Model Konservatif

Menurut hipotesis ini, rantai ganda DNA induk langsung membentuk salinan berupa rantai ganda DNA baru tanpa ada pemisahan rantai ganda DNA induk terlebih dahulu. Replikasi pertama menghasilkan dua rantai ganda DNA, terdiri dari satu rantai ganda DNA induk dan satu rantai ganda DNA yang benar-benar baru. Pada replikasi kedua, masing-masing rantai ganda DNA tersebut langsung membentuk salinan DNA yang baru lagi. Akhirnya, menghasilkan empat buah DNA. Satu DNA tetap merupakan DNA induk yang utuh dan tiga DNA merupakan DNA baru.

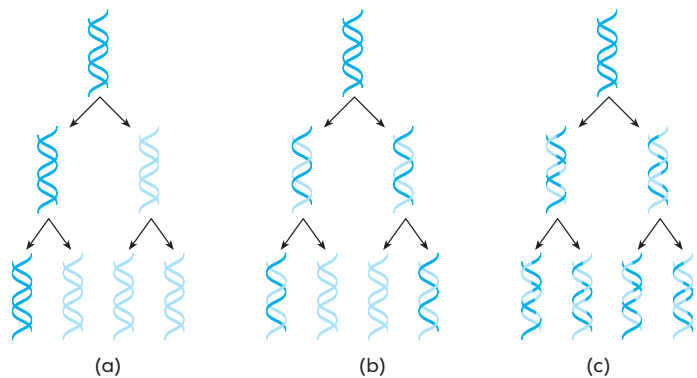
2) Model Semi Konservatif

Hipotesis model semi konservatif ini dikemukakan oleh Watson dan Crick, menyatakan bahwa rantai ganda DNA induk membuka atau memisah terlebih dahulu sehingga terbentuk dua buah rantai tunggal DNA. Masing-masing rantai tunggal tersebut berfungsi sebagai cetakan untuk membentuk rantai tunggal DNA baru, melalui pembentukan pasangan basa yang komplementer dengan basa nitrogen DNA induk. Dengan demikian, hasil replikasi pertama adalah dua buah DNA. Masing-masing DNA terdiri dari satu rantai tunggal induk dan satu rantai tunggal yang baru. Pada replikasi kedua, masing-masing rantai ganda DNA tersebut membuka kembali sehingga dihasilkan empat buah DNA. Dua buah DNA mengandung rantai tunggal induk dan dua buah DNA yang lain merupakan rantai DNA baru.

3) Model Dispersif

Rantai ganda DNA hasil replikasi pertama maupun replikasi ke dua dari DNA induk mengandung segmen campuran antara rantai DNA induk dan rantai DNA baru. Artinya, rantai ganda DNA salinannya terdiri dari dua rantai tunggal DNA yang masing-masing mengandung segmen (bagian atau potongan) DNA induk dan segmen DNA baru.

Pada akhir tahun 1950-an, **Matthew Meselson** dan **Franklin Stahl** melakukan percobaan untuk menguji ketiga hipotesis tersebut. Ternyata, hasil percobaannya mendukung hipotesis atau ide dari Watson dan Crick yaitu model semi konservatif.



Gambar 3.11
Tahapan transkripsi RNA
a. konservatif
b. semi konservatif
c. dispersif

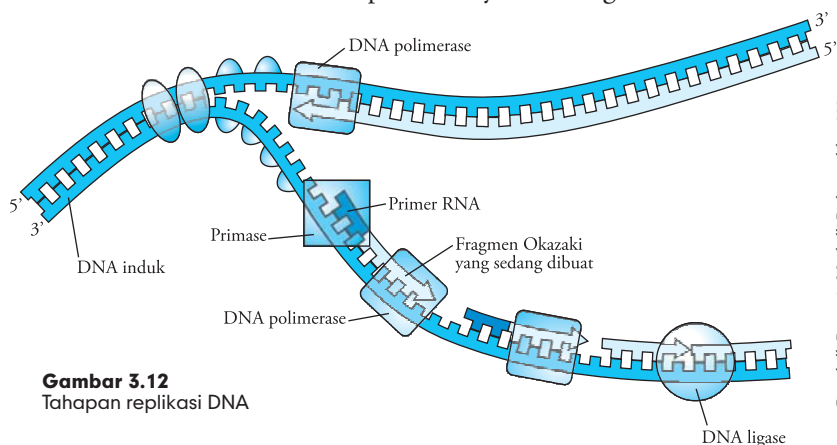
Galeri

RNA Virus dapat Membentuk DNA

Menurut Baltimore, Mizushima, dan Temin (1970), beberapa virus dapat mensintesis DNA dari RNA hasil cetakan yang berantai tunggal. Enzim yang berperan disebut DNA polimerase bergantung RNA atau Transkriptase Sebalikny.

Suryo, Genetika, hlm. 101

Replikasi merupakan tahapan rumit yang mengawali sintesis protein. Oleh karena itu, kalian perlu menyimak dengan saksama.



Gambar 3.12
Tahapan replikasi DNA

Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 1, hlm. 309

Proses replikasi dimulai pada beberapa daerah spesifik dari rantai DNA, disebut **pangkal replikasi**. Beberapa tahapan dan enzim yang berperan dalam sintesis protein, antara lain:

- DNA helikase, berfungsi untuk membuka rantai ganda DNA induk.
- Enzim primase, membentuk primer yang merupakan segmen pendek dari RNA sebagai pemula untuk terjadinya sintesis protein.
- Dari ujung 3' RNA primer, DNA polimerase menambahkan pasangan basa nitrogen (dari nukleotida-nukleotida) pada rantai tunggal DNA induk dan terbentuk rantai DNA yang bersambungan secara kontinyu (tanpa terpisah-pisah) yang disebut *leading strand*.
- Pada rantai tunggal DNA induk yang lain, DNA polimerase membentuk *lagging strand* (merupakan keseluruhan rantai kopian DNA yang pertumbuhannya tidak kontinyu) dengan memperpanjang RNA primer-RNA primer di beberapa tempat sehingga membentuk segmen-segmen DNA baru yang saling terpisah. Segmen-segmen itulah yang disebut **fragmen Okazaki**.
- DNA polimerase yang lainnya, menggantikan RNA primer dengan DNA dan enzim ligase menghubungkan segmen-segmen okazaki, sehingga terbentuk salinan DNA baru.

Nah, DNA baru yang telah terbentuk (identik dengan DNA induk) akan melanjutkan tahapan untuk mensintesis protein yaitu tahapan transkripsi dan translasi.

b. Transkripsi

Pada tahapan ini, DNA akan membentuk RNA dengan cara menerjemahkan kode-kode genetik dari DNA. Proses pembentukan RNA ini disebut **transkripsi**, yang menghasilkan 3 macam RNA seperti yang telah kalian ketahui sebelumnya, yaitu RNA m, RNA t, dan RNA r.

Transkripsi terjadi di dalam sitoplasma dan diawali dengan membukanya rantai ganda DNA melalui kerja enzim RNA polimerase. Sebuah rantai tunggal berfungsi sebagai rantai cetakan atau **rantai sense**,

rantai yang lain dari pasangan DNA ini disebut **rantai anti sense**. Tidak seperti halnya pada replikasi yang terjadi pada semua DNA, transkripsi ini hanya terjadi pada segmen DNA yang mengandung kelompok gen tertentu saja. Oleh karena itu, nukleotida nukleotida pada rantai sense yang akan ditranskripsi menjadi molekul RNA dikenal sebagai **unit transkripsi**.

Transkripsi meliputi 3 tahapan, yaitu tahapan inisiasi, elongasi, dan terminasi.

1) Inisiasi (Permulaan)

Jika pada proses replikasi dikenal daerah pangkal replikasi, pada transkripsi ini dikenal **promoter**, yaitu daerah DNA sebagai tempat melekatnya RNA polimerase untuk memulai transkripsi. RNA polimerase melekat atau berikatan dengan promoter, setelah promoter berikatan dengan kumpulan protein yang disebut **faktor transkripsi**. Nah, kumpulan antara promoter, RNA polimerase, dan faktor transkripsi ini disebut **kompleks inisiasi transkripsi**. Selanjutnya, RNA polimerase membuka rantai ganda DNA.

2) Elongasi (Pemanjangan)

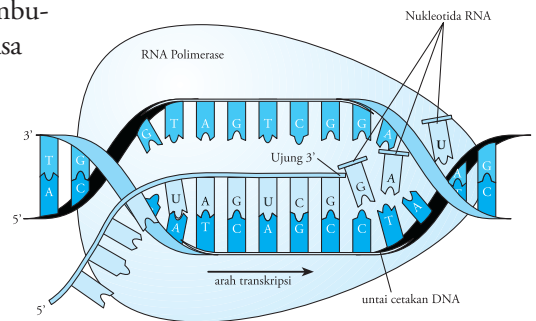
Setelah membuka pilinan rantai ganda DNA, RNA polimerase ini kemudian menyusun untai nukleotida-nukleotida RNA dengan arah 5' ke 3'. Pada tahap elongasi ini, RNA mengalami pertumbuhan memanjang seiring dengan pembentukan pasangan basa nitrogen DNA. Pembentukan RNA analog dengan pembentukan pasangan basa nitrogen pada replikasi. Pada RNA tidak terdapat basa pirimidin timin (T), melainkan urasil (U). Oleh karena itu, RNA akan membentuk pasangan basa urasil dengan adenin pada rantai DNA. Tiga macam basa yang lain, yaitu adenin, guanin, dan sitosin dari DNA akan berpasangan dengan basa komplemennya masing-masing sesuai dengan pengaturan pemasangan basa. Adenin berpasangan dengan urasil dan guanin dengan sitosin (Gambar 3.13).

3) Terminasi (Pengakhiran)

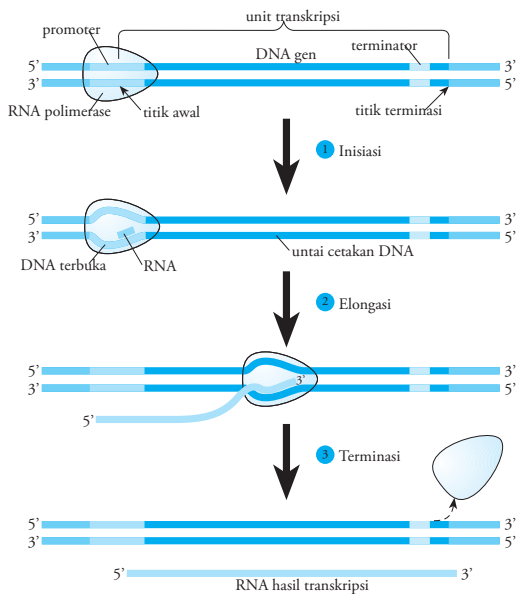
Penyusunan untai nukleotida RNA yang telah dimulai dari daerah promoter berakhir di daerah terminator. Setelah transkripsi selesai, rantai DNA menyatu kembali seperti semula dan RNA polimerase segera terlepas dari DNA. Akhirnya, RNA terlepas dan terbentuklah RNA m yang baru.

Pada sel prokariotik, RNA hasil transkripsi dari DNA, langsung berperan sebagai RNA m. Sementara itu, RNA hasil transkripsi gen pengkode protein pada sel eukariotik, akan menjadi RNA m yang fungsional (aktif) setelah melalui proses tertentu terlebih dahulu.

Dengan demikian, pada rantai tunggal RNA m terdapat beberapa urutan basa nitrogen yang merupakan komplemen (pasangan) dari pesan genetik (urutan basa nitrogen) DNA. Setiap tiga macam urutan basa nitrogen pada nukleotida RNA m hasil transkripsi ini disebut sebagai **triplet** atau **kodon**.



Gambar 3.13
Tahap elongasi transkripsi



Gambar 3.14
Tahapan transkripsi RNA

c. Translasi

Setelah replikasi DNA dan transkripsi RNA m di dalam nukleus, RNA m dari nukleus dipindahkan ke sitoplasma sel. Langkah selanjutnya adalah proses translasi RNA m untuk membentuk protein. Translasi merupakan proses penerjemahan beberapa triplet atau kodon dari RNA m menjadi asam amino-asam amino yang akhirnya membentuk protein. Urutan basa nitrogen yang berbeda pada setiap triplet, akan diterjemahkan menjadi asam amino yang berbeda. Misalnya, asam amino fenilalanin diterjemahkan dari triplet UUU (terdiri dari 3 basa urasil), asam amino triptofan (UGG), asam amino glisin (GGC), dan asam amino serin UCA. Sebanyak 20 macam asam amino yang diperlukan untuk pembentukan protein merupakan hasil terjemahan triplet dari RNA m. Selanjutnya, dari beberapa asam amino (puluhan, ratusan, atau ribuan) tersebut dihasilkan rantai polipeptida spesifik dan akan membentuk protein spesifik pula.

Sebelum kalian melanjutkan bahasan tentang tahapan translasi, lakukanlah rubrik *Diskusi* berikut ini.

Diskusi

Diskusikanlah dengan teman kalian, mungkinkah dalam proses translasi dapat terjadi kesalahan dalam menerjemahkan kode-kode genetik yang dibawa oleh RNA m? Apa yang akan terjadi dari kemungkinan tersebut? Kalian dapat mencari informasi yang mendukung jawaban kalian.

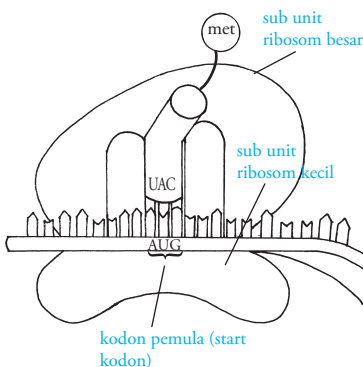
Lalu, bagaimana mekanisme translasi tersebut? Langkah-langkah pada proses translasi adalah sebagai berikut:

1) Inisiasi Translasi

Ribosom sub unit kecil mengikat diri pada RNA m yang telah membawa sandi bagi asam amino yang akan dibuat, serta mengikat pada bagian inisiator RNA t. Selanjutnya, molekul besar ribosom juga ikut terikat bersama ketiga molekul tersebut membentuk kompleks inisiasi.

Molekul-molekul RNA t mengikat dan memindahkan asam amino dari sitoplasma menuju ribosom dengan menggunakan energi GTP dan enzim. Bagian ujung RNA t yang satu membawa antikodon, berupa triplet basa nitrogen. Sementara, ujung yang lain membawa satu jenis asam amino dari sitoplasma. Kemudian, asam amino tertentu tersebut diaktifkan oleh RNA t tertentu pula dengan menghubungkan antikodon dan kodon (pengkode asam amino) pada RNA m.

Kodon pemula pada proses translasi adalah AUG, yang akan mengkode pembentukan asam amino metionin. Oleh karena itu, antikodon RNA t yang akan berpasangan dengan kodon pemula adalah

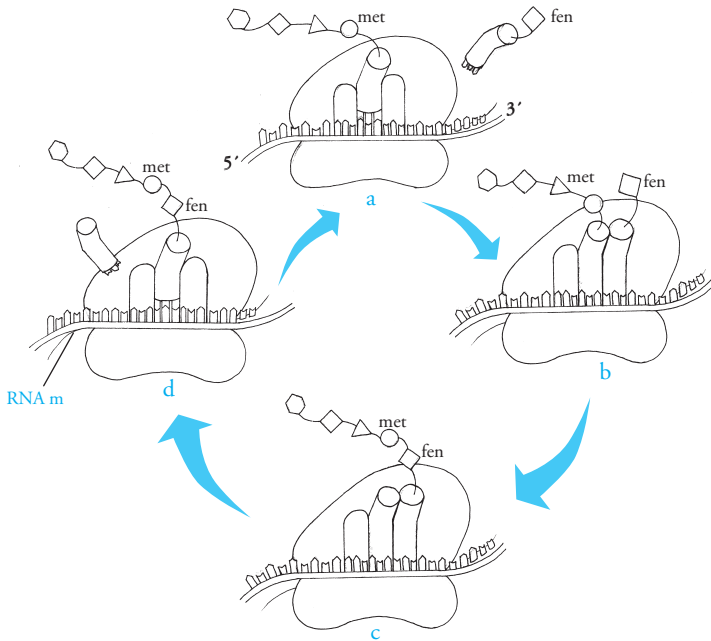


Gambar 3.15
Tahap inisiasi translasi

UAC. RNA t tersebut membawa asam amino metionin pada sisi pembawa asam aminonya.

2) Elongasi

Tahap pengaktifan asam amino terjadi kodon demi kodon sehingga dihasilkan asam amino satu demi satu. Asam-asam amino yang telah diaktifkan oleh kerja RNA t sebelumnya, dihubungkan melalui ikatan peptida membentuk polipeptida pada ujung RNA t pembawa asam amino. Misalnya, RNA t membawa asam amino fenilalanin, maka antikodon berupa AAA kemudian berhubungan dengan kodon RNA m UUU. Fenilalanin tersebut dihubungkan dengan metionin membentuk peptida. Nah, melalui proses elongasi, rantai polipeptida yang sedang tumbuh tersebut semakin panjang akibat penambahan asam amino.



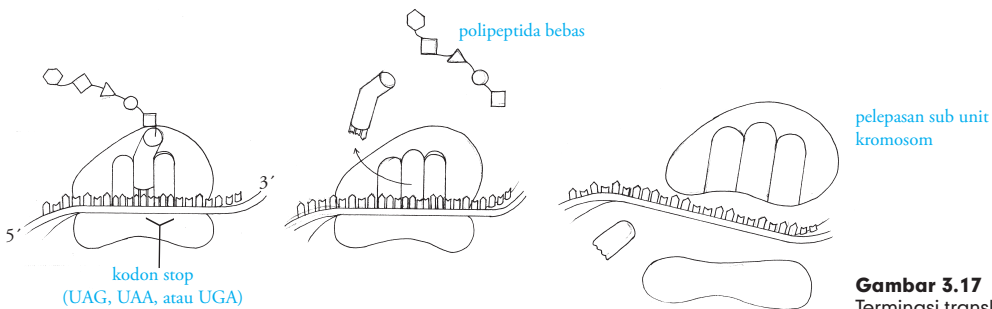
Gambar 3.16

Tahap elongasi translasi

- RNA t membawa antikodon AAA & asam amino (fenilalanin)
- antikodon AAA berpasangan dengan kodon RNA m
- pembentukan ikatan peptida
- pemanjangan rantai polipeptida & ribosom siap menerima RNA t selanjutnya

3) Terminasi

Proses translasi berhenti setelah antikodon yang dibawa RNA t bertemu dengan kodon UAA, UAG, atau UGA. Dengan demikian, rantai polipeptida yang telah terbentuk akan dilepaskan dari ribosom dan diolah membentuk protein fungsional.



Gambar 3.17

Terminasi translasi

Galeri

Kodon pada Khamir

Mitokondria khamir menggunakan kodon di luar kamus kodogen. Kode AUA tidak menyandi isoleusin tetapi menyandi metionin. UGA biasanya untuk penghentian tetapi mensandikan triptofan.

Lehninger, Dasar-dasar Biokimia

Setelah kalian mempelajari tahapan dalam sintesis protein, simaklah uraian berikut ini agar kalian lebih mudah memahami sintesis protein.

2. Kode Genetik dalam Sintesis Protein

Sekarang kita sudah memperoleh jawaban tentang bagaimana bahasa DNA yang hanya memiliki 4 basa nitrogen dapat diterjemahkan menjadi bahasa protein. Rahasia ini terbongkar sejak tahun 1961 oleh **Marshal Nirenberg** dan **Mathei**. Mereka melakukan percobaan menggunakan *E. coli* dengan asam poli urasil. Menurut hasil percobaan tersebut, cetakan UUU yang dibawa oleh RNA m, artinya adalah asam amino fenilalanin. Dengan cara yang sama, triplet CCC diartikan sebagai prolin dan triplet AAA artinya asam amino lisin.

Pada kamus kode genetik terdapat 64 kombinasi triplet untuk 20 asam amino. Jadi, terdapat asam amino tertentu melebihi triplet (kodon). Setiap triplet disusun oleh 3 basa nitrogen. Rangkaian tiga basa nitrogen yang menyusun kode disebut triple atau trikodon atau kodon. Rangkaian tiga basa nitrogen yang ada pada DNA yang bertugas membuat kode-kode disebut **kodogen** (agen pengkode).

Jika kalian perhatikan, dari 64 triplet nukleotida terdapat 3 buah kode yaitu UAG, UAA dan UGA tidak menyandi asam amino apapun. Kodon-kodon tersebut adalah kodon-kodon yang tak bernuksa (nonsense) yang secara umum menjadi tanda berakhirnya rantai polipeptida. Kodon AUG menjadi kodon sandi asam amino metionin serta sebagai tanda dimulainya rantai polipeptida.

Heliks DNA merupakan material kromosom yang membawa informasi genetik. DNA tersebut memiliki kemampuan membentuk atau membuat RNA d (RNA kurir = RNA m) melalui proses transkripsi. Pesan-pesan DNA dicetak sebagai kode-kode. Heliks DNA yang bertugas mencetak kode-kode disebut **DNA template** (DNA sense), sedangkan rantai DNA pasangannya disebut **DNA anti sense**. Satu kromosom adalah satu molekul DNA. Satu molekul DNA mengandung jutaan pasangan nukleotida, artinya sebuah heliks DNA mengandung jutaan nukleotida. Tidak semua kode-kode yang ada pada DNA ditranskripsikan. Transkripsi DNA bersifat selektif. Kode-kode yang ditranskripsikan ditujukan untuk urutan asam amino yang telah ditentukan secara genetik. DNA sense melalui proses transkripsi membentuk RNA d. Basa nitrogen yang ada pada RNA d yang merupakan pesan DNA, disebut kodon. Selanjutnya proses sintesis protein yang terjadi merupakan proses terjemahan kodon-kodon yang dibawa oleh RNA d.

Apakah yang akan terjadi jika RNA transfer salah dalam menterjemahkan kodon? Yang akan terjadi adalah terbentuknya asam amino yang tidak sesuai dengan pesanan DNA (tidak sesuai dengan harapan). Asam amino yang berbeda membentuk protein yang berbeda, protein yang berbeda membentuk enzim yang berbeda, sehingga sifat yang dikendalikan juga berbeda. Apabila terjadi kesalahan seperti ini, maka dapat bersifat menurun dan menyebabkan terjadinya mutasi.

Dengan penjelasan di atas dapat dipertegas bahwa kesalahan RNA t dalam menerjemahkan kodon-kodon RNA d merupakan mekanisme terjadinya mutasi gen (mutasi akan dibahas pada bab tersendiri).

Tabel 3.2. Kodon dan Asam Aminonya

Asam Amino	Kodon atau Triplet	Asam amino	Kodon atau Triplet	AA	Kodon	Asam Amino	Kodon atau Triplet	Asam amino	Kodon atau Triplet	AA	Kodon
Fenilalanin	UUU UUC	Lisin	AAA AAG	Tirosin	UAU UAC	Valin	GUU GUC GUA GUG	Arginin	CGU CGC CGA CGG AGA AGG	Threonin	UAU UAC
Leusin	UUA UUG CUU CUC CUA CUG	Asparagin	GAU GAC	Alanin	GCU GCC GCA GCG						
Isoleusin	AUU AUG AUA	Glutamin	GAA GAG	Histidin	CAU CAC	Serin	UCU UCC UCA UCG AGU AGC	Asam Aspartat	GAU GAC	Triptofan	UGG
Metionin	AUG (start kodon)	Sistein	UGU UGC	Glisin	CAA CAG GGU GGC GGA GGG						
						Prolin	CCU CCC CGA CCG	Asam Glutamat	GAA GAG	Stop Kodon	UAA UAG UGA

Suryo, Genetika, hlm. 90 (dengan pengembangan)

Agar kalian dapat memahami dengan baik tentang sintesis protein, lakukanlah rubrik *Percobaan* dan *Uji Kompetensi* berikut ini.

Percobaan

Mengetahui Konsep Replikasi DNA

A. Dasar Teori

Sebelum sintesis protein, terjadi proses replikasi DNA sehingga terbentuk DNA baru yang identik dengan DNA induk. Berdasarkan penelitian, replikasi DNA terjadi secara semi konservatif. DNA hasil replikasi kemudian akan ditranskripsikan menjadi RNA m yang membawa kode-kode genetik dari DNA. Selanjutnya, kode-kode genetik dari RNA m akan ditranslasikan untuk membentuk asam-asam amino.

B. Tujuan

Mendeskripsikan konsep replikasi DNA dan transkripsi

C. Alat dan Bahan

1. Enam buah penggaris 1 meteran
2. Lima macam warna was, masing-masing jumlahnya 10 buah (setiap was berukuran (2 x 2 x 1) cm)
3. Gambar *double helix* DNA dengan 6 pasang nukleotida

D. Cara Kerja

1. Perhatikan gambar *double helix* DNA tersebut. Ingat bahwa DNA memiliki kemampuan replikasi dan transkripsi.
2. Letakkan 2 penggaris pada meja. Jarak antara penggaris yang satu dengan yang lain 75 cm. Anggap penggaris tersebut adalah gugus fosfat dan gula deoksiribosa.
3. Berilah label was dengan A, T, G, C, dan U. Setiap label yang sama harus mempunyai warna yang sama. Contoh: label A warna hijau sebanyak 8 buah, label T warna orange sebanyak 8 buah, G warna biru 8 buah, C warna merah 8 buah, dan U warna kuning 8 buah.
4. Lakukan pengaturan letak was berdekatan dengan kedua penggaris. Kalian meletakkan 16 was di sebelah kanan penggaris pertama dan di sebelah kiri penggaris kedua.
5. Lakukan praktek replikasi DNA. Susun heliks baru hasil replikasi, kemudian tuliskan hasil replikasi DNA berupa 2 buah DNA baru.
6. Gambarlah hasilnya.
7. Anggap heliks DNA penggaris kiri sebagai pita sense.
8. Letakkan sebuah penggaris di dekat pita sense sebagai pengganti pita RNA m. Letakkan was-was yang cocok untuk berikatan dengan was yang ada pada pita sense.
9. Gambarkan pita RNA m hasil transkripsi.
10. Diskusikan hasilmu dengan teman dan gurumu. Apabila kalian menemui kesulitan, mintalah penjelasan pada gurumu.

E. Pembahasan

1. Jelaskan empat macam basa nitrogen yang berperan dalam replikasi DNA.
2. Bagaimanakah aturan pemasangan basa nitrogen dalam replikasi DNA?
3. Samakah DNA hasil replikasi yang terbentuk dengan DNA induk?

Uji Kompetensi

Kerjakanlah soal-soal berikut ini.

1. Jelaskan secara umum, hubungan antara DNA, RNA, dan polipeptida dalam sintesis protein.
2. Sebutkan 3 tahapan utama dalam sintesis protein dan jelaskan maksud masing-masing secara singkat.
3. Sebutkan tahapan replikasi DNA secara singkat.
4. Apa yang dimaksud dengan transkripsi?
5. Sebutkan 3 tahapan pada transkripsi.
6. Di manakah terjadinya replikasi, transkripsi, dan translasi?
7. Jelaskan peran sintesis protein yang berkaitan dengan sifat individu.
8. Apakah yang dimaksud dengan:
 - a. Rantai sense
 - b. Rantai anti sense
 - c. Kodon
9. Jelaskan pada tahapan apakah kode genetik dari RNA m disandikan menjadi asam amino.
10. Sebutkan 3 macam kode genetik (kodon) yang berperan sebagai kodon pemberhenti (stop kodon).

I k h t i s a r

1. Pada saat sel sedang membelah, benang-benang kromatin ini memendek dan menebal membentuk struktur yang disebut kromosom.
2. Kromosom mempunyai 2 bagian utama yaitu sentromer (kinetokor) dan lengan. Pada lengan ditemukan bagian-bagian berupa matriks, kromonema, kromomer, dan lekukan sekunder. Kadang-kadang dijumpai adanya satelit.

3. Jumlah kromosom pada setiap jenis organisme berbeda-beda, namun bersifat tetap (konstan). Jumlah kromosom tiap jenis organisme menunjukkan banyaknya kromosom yang ada pada sebuah sel organisme tersebut.
4. Berdasarkan letak sentromernya, bentuk kromosom dibedakan menjadi 4 macam, antara lain: metasentris, sub metasentris, telosentris, dan akrosentris.
5. Spesies yang berbeda memiliki ukuran kromosom yang berbeda. Pada umumnya, kromosom sel tumbuhan lebih besar dibanding kromosom sel hewan.
6. Berdasarkan ukuran (panjang), jumlah, dan bentuk kromosom maka kromosom sel somatis dapat disusun atau diatur secara standar. Hasil penyusunan ini disebut karyotipe.
7. Jumlah atau satu set atau perangkat dari bermacam-macam homolog tersebut dinamakan genom atau ploidi.
8. Kromosom mempunyai komponen utama, antara lain: DNA (*Deoxyribo Nucleic Acid* atau asam nukleat deoksiribosa), protein histon, dan protein non histon. Protein histon bersifat basa kuat dan menetralkan keasaman DNA.
9. DNA merupakan material kromosom sebagai penyimpan informasi genetik DNA berperan dalam membawa dan menyimpan informasi genetik sel. Jumlah dan jenis informasi di dalam sel (tiap sebuah sel) sangat banyak.
10. DNA dan RNA tersusun oleh nukleotida-nukleotida yang saling terpaat membentuk polinukleotida yang amat panjang. DNA merupakan molekul yang besar (makromolekul) dan terdiri dari dua rantai polinukleotida yang saling berikatan. Setiap nukleotida tersusun atas 3 komponen, antara lain: sebuah basa nitrogen, sebuah gula pentosa yaitu deoksiribosa, dan satu gugus fosfat.
11. Basa nitrogen DNA meliputi basa purin dan basa pirimidin. Basa purin meliputi guanin (G) dan adenin (A), basa pirimidin meliputi sitosin (C) dan timin (T).
12. Komponen gula RNA berupa gula ribosa. Dua purin dan dua pirimidin juga ditemukan pada RNA, tetapi basa pirimidin timin tidak ditemukan. Pada RNA ditemukan pirimidin urasil.
13. Berdasarkan tempat terdapat dan fungsinya, RNA dibedakan menjadi RNA m (*RNA messenger*), RNA r (RNA ribosom) dan RNA t (RNA transfer).
14. Gen adalah unit genetik yang terdapat di dalam kromosom. Dalam satu kromosom terdapat ribuan bahkan puluhan ribu gen. Gen-gen tersebut terdapat di dalam DNA dan merupakan segmen dari DNA yang berperan dalam menentukan sifat individu. Gen merupakan nama fungsional, sedangkan DNA adalah nama strukturalnya.
15. Suatu sifat dikendalikan oleh sepasang gen. Anggota dari pasangan gen disebut sebagai alel, dimana satu alel diperoleh dari induk jantan dan yang lain dari induk betina. Pasangan alel tersebut merupakan penentu dari suatu sifat.
16. Jika gen tersebut dua alel dominan, maka disebut gen homozigot dominan. Jika dibentuk oleh dua alel resesif, maka disebut gen homozigot resesif. Sementara itu, jika gen dibentuk oleh sebuah alel dominan dan sebuah alel resesif maka disebut gen heterozigot.
17. Informasi genetik pada *double helix* DNA berupa kode-kode sandi atau kode genetik.
18. Replikasi DNA atau penggandaan DNA meliputi 3 tahapan, antara lain: inisiasi (permulaan), elongasi (pemanjangan), dan terminasi (pengakhiran).
19. Translasi merupakan proses penerjemahan beberapa triplet atau kodon dari RNA m menjadi asam amino-asam amino yang akhirnya membentuk protein. Urutan basa nitrogen yang berbeda pada setiap triplet, akan diterjemahkan menjadi asam amino yang berbeda. Tahapan pada translasi meliputi inisiasi translasi, elongasi, dan terminasi.

Anti kodon Pasangan dari kodon, terdapat pada bagian ujung RNA t dan berperan dalam translasi protein

Anti sense Rantai tunggal DNA dimana kode-kode genetiknya tidak berfungsi untuk mencetak RNA m dan merupakan pasangan rantai sense

Asam nukleat Molekul organik berukuran besar berupa DNA dan RNA

Histon Protein basa yang banyak mengandung asam amino arginin dan lisin serta membentuk kumpulan dengan DNA dalam struktur nukleosom

Karyotipe Pengaturan atau penyusunan kromosom sel somatis individu secara standar berdasarkan panjang, jumlah, dan bentuk kromosom

Kodon Disebut triplet., kelompok nukleotida yang terdiri dari 3 basa nitrogen pada RNA m yang akan menyandi asam amino tertentu

Nukleoprotein Struktur yang terdiri dari asam nukleat dan protein

Nukleosom Kumpulan dari DNA dan protein histon yang membentuk lilitan

Satelit Struktur tambahan pada ujung kromosom, Tidak selalu ada pada setiap kromosom

Template Disebut bagian sense, bagian rantai DNA yang akan disalin kode-kode genetiknya dan merupakan pasangan rantai anti-sense

Ulangan Harian

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

- Bagian kromosom berupa benang-benang halus berbentuk spiral disebut
 - sentromer
 - telomer
 - kinetokor
 - satelit
 - kromonema
- Jumlah kromosom sel pada manusia adalah
 - 46
 - 36
 - 8
 - 24
 - 16
- Kromosom yang mempunyai sentromer di bagian tengah dan membagi lengan kromosom menjadi dua bagian yang sama panjangnya, disebut
 - telosentris
 - metasentris
 - sub metasentris
 - akrosentris
 - telomer
- Keseluruhan jumlah dari seperangkat pasangan kromosom homolog, disebut
 - somatis
 - karyotipe
 - ploidi
 - haploid
 - diploid
- Kromosom sel tubuh manusia bersifat
 - haploid
 - somatis
 - genom
 - diploid
 - triploid
- Bagian kromosom tempat terdapatnya DNA dan protein histon adalah
 - satelit
 - histon
 - kromomer
 - sentromer
 - telomer
- Berikut ini adalah organel-organel sel:
 - 1) sitoplasma
 - 2) nukleus
 - 3) mitokondria
 - 4) plastida
 - 5) badan golgi
 - 6) ribosom

DNA pada sel eukariotik dapat dijumpai pada

- a. 1 dan 2
- b. 2 saja
- c. 2, 3, dan 4
- d. 4, 5, dan 6
- e. 5 dan 6

8. Berikut ini pernyataan tentang DNA:

- 1) pada sel prokariotik mempunyai rantai ganda
- 2) pada sel eukariotik mempunyai rantai tunggal
- 3) pada sel eukariotik mempunyai rantai ganda
- 4) dapat mengalami denaturasi dan tidak dapat mengalami renaturasi
- 5) merupakan materi pembawa informasi genetik
- 6) dapat dijumpai pada badan golgi
- 7) ketebalannya dapat mencapai 20 \AA

Dari pernyataan di atas, yang menunjukkan sifat DNA adalah

- a. 1, 2, dan 7
- b. 2, 4, dan 7
- c. 3, 4, dan 5
- d. 3, 5, dan 7
- e. 5, 6, dan 7

9. Basa nitrogen pada DNA yang tidak dimiliki oleh RNA adalah

- a. urasil
- b. timin
- c. adenin
- d. guanin
- e. sitosin

10. Perbedaan utama pada struktur DNA dan RNA adalah pada

- a. gula ribosa
- b. gugus fosfat
- c. gugus fosfat dan gula ribosa
- d. basa nitrogen
- e. gula ribosa dan basa nitrogennya

11. Gugus gula pada struktur DNA adalah

- a. ribosa
- b. deoksiribosa
- c. basa nitrogen
- d. gugus fosfat
- e. polisakarida

12. Pasangan-pasangan berikut ini terjadi pada basa nitrogen

- a. adenin dan guanin (ikatan tunggal)
- b. guanin dan timin (ikatan ganda)
- c. sitosin dan adenin (ikatan rangkap tiga)
- d. adenin dan timin (ikatan ganda)
- e. adenin dan timin (ikatan rangkap tiga)

13. Ikatan antara basa nitrogen dan antara nukleotida satu dengan nukleotida berikutnya adalah

- a. ikatan hidrogen, ikatan fosfodiester
- b. ikatan fosfodiester, ikatan hidrogen
- c. ikatan rangkap, ikatan hidrogen
- d. ikatan ion, ikatan hidrogen
- e. ikatan ion, ikatan fosfodiester

14. RNA yang bertugas membawa informasi genetik DNA dari nukleus menuju ribosom pada saat sintesis protein adalah

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

15. Berikut ini pernyataan yang benar tentang replikasi DNA adalah

- a. dihasilkan 1 rantai tunggal RNA dan satu rantai ganda DNA
- b. dihasilkan satu rantai tunggal RNA
- c. DNA polimerase membentuk pasangan DNA yang bersifat kontinyu, disebut *leading strand*
- d. DNA polimerase membentuk pasangan DNA yang bersifat kontinyu, disebut *lagging strand*
- e. Enzim ligase berfungsi untuk membuka ikatan ganda DNA

16. Jika urutan basa nitrogen pada salah satu rantai DNA adalah ATTGSAGTGSSGTAA, maka rantai baru DNA hasil replikasinya mempunyai urutan basa

- a. TAASSTSASGGGATT
 - b. GSSATGASATTASGG
 - c. TAASGTSASGGGATT
 - d. UAASGUSASGGSAUU
 - e. TAASGUASATTASGG
17. DNA template mempunyai urutan basa nukleotida ATTAAGSSGA, maka RNA m hasil transkripsi mempunyai urutan basa
- a. TAATTTSGGGST
 - b. GSSUUUATTTAG
 - c. UGGTTTTAAATS
 - d. UAAUUUSGGGSU
 - e. USGTAATTTSGG
18. Jika diketahui, kodon-kodon dan asam amino yang akan disandikan adalah sebagai berikut:
- CUA : leusin
 UCU dan UCG : serin
 AUU : isoleusin
 UUU : fenilalanin
- Maka asam amino yang akan dibentuk pada proses translasi dari urutan basa AAAAGAAGCGAU adalah
- a. serin, serin, leusin, fenilalanin
 - b. fenilalanin, leusin, serin, serin
 - c. fenilalanin, serin, serin, leusi
 - d. isoleusin, fenilalanin, fenilalanin, leusin
 - e. isoleusin, isoleusin, fenilalanin, leusin
19. Tempat terjadinya proses translasi dalam sintesis protein adalah
- a. ribosom
 - b. sitoplasma
 - c. nukleus
 - d. mitokondria
 - e. badan golgi
20. Cara replikasi DNA dimana rantai ganda DNA induk memisah kemudian masing-

masing rantai tunggal membentuk salinan rantai DNA yang baru, disebut

- a. dispersif
- b. dispersif dan konservatif
- c. konservatif
- d. konservatif dan semi konservatif
- e. semi konservatif

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. Apa yang dimaksud dengan:
 - a. gen
 - b. alel
 - c. genom
 - d. lokus gen
 - e. haploid
 - f. diploid
2. Apa yang dimaksud dengan:
 - a. *leading strand*
 - b. *lagging strand*
 - c. fragmen Okazaki
3. Jelaskan peranan enzim helikase dan enzim ligase pada replikasi DNA.
4. Jelaskan tahapan inisiasi pada translasi protein?
5. Sebutkan dan jelaskan 3 hipotesis cara replikasi.
6. Jelaskan tentang tahapan elongasi pada saat translasi?
7. Sebutkan dan jelaskan peranan dari macam-macam RNA.
8. Gambarkan secara skematis cara replikasi DNA semi konservatif.
9. Sebutkan kodon yang berfungsi sebagai start kodon dan stop kodon.
10. Apa yang dimaksud dengan unit transkripsi dan kompleks inisiasi? Jelaskan.

B a b IV

Pembelahan Sel



Microsoft/Encarna Premium, 2006

Kalian mungkin sering melihat orang yang secara fisik mirip dengan orang lainnya dalam satu keluarga. Coba kalian perhatikan gambar di atas. Adakah persamaan yang kalian temukan antara orang tua dengan anaknya? Pepatah mengatakan “Buah jatuh tidak jauh dari pohonnya”. Pepatah ini dapat diartikan, sifat seorang anak tidak akan jauh dari sifat kedua orang tuanya.

Dalam hal ini, kita hanya membicarakan sifat fisik, bukan sifat secara total. Kemiripan antara orang tua dengan anaknya merupakan salah satu bentuk pewarisan sifat. Tahapan awal yang menyebabkan terjadinya pewarisan sifat adalah proses pembelahan sel. Kalian tentunya ingin mengetahui mekanisme pembelahan sel ini bukan? Nah, untuk itu, kalian perlu mempelajari materi pada bab ini.

Kata Kunci

- Pembelahan sel
- Amitosis
- Mitosis
- Meiosis
- Gametogenesis

Kilas

Pada bab sebelumnya, kalian telah mempelajari materi genetik yang terdiri dari DNA dan RNA. Salah satu tugas materi genetik adalah membawa sifat-sifat induk kepada anaknya. Pada manusia, DNA bertugas mewariskan sifat-sifat orang tua kepada anaknya.

Galeri

Berapakah kecepatan pembelahan sel bakteri?

Pada umumnya, satu sel bakteri hanya membutuhkan waktu 1-3 jam untuk menghasilkan 2 sel bakteri atau untuk melipatgandakan jumlah selnya. Jika di dalam 1 erlenmeyer ditumbuhkan 10.000 sel bakteri, maka setelah 1 jam jumlah bakteri akan menjadi 20.000 sel.

Madigan, Martinko, & Parker, *Biology of Microorganisms*

Pada materi berikut ini, kalian akan diajak bersama-sama untuk mempelajari proses pembelahan sel yang meliputi pembelahan mitosis dan pembelahan meiosis. Selanjutnya, kalian juga akan mempelajari kaitan antara gametogenesis dengan pewarisan sifat, baik pada hewan maupun tumbuhan. Simaklah uraiannya pada materi di bawah ini.

Setelah mempelajarinya, kalian diharapkan dapat mengidentifikasi dan membedakan ciri-ciri, tahapan, tempat terjadinya, serta fungsi dari pembelahan mitosis dan meiosis. Selain itu, kalian diharapkan dapat membedakan gametogenesis pada hewan dan tumbuhan.

A. Reproduksi Sel

Pernahkah kalian memikirkan proses tumbuhnya badan bayi hingga dewasa? Dari bayi, kita dapat tumbuh menjadi bentuk sekarang ini disebabkan sel-sel di dalam tubuh kita terus-menerus memperbanyak diri melalui pembelahan sel. Oleh karena itu, pembelahan sel merupakan faktor penting dalam hidup kita.

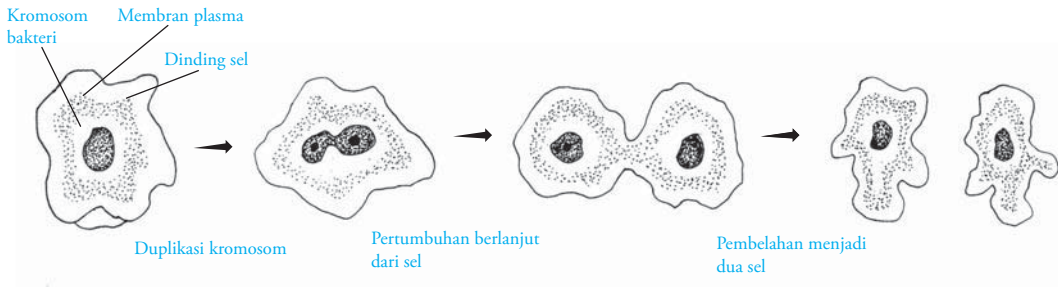
Sel merupakan bagian terkecil yang menyusun tubuh kita. Setiap sel dapat memperbanyak diri dengan membentuk sel-sel baru melalui proses yang disebut **pembelahan sel** atau **reproduksi sel**. Pada organisme bersel satu (*uniseluler*), seperti bakteri dan protozoa, proses pembelahan sel merupakan salah satu cara untuk berkembang biak. Protozoa melakukan pembelahan sel dari satu sel menjadi dua, dari dua sel menjadi empat, dan dari empat sel menjadi delapan, dan seterusnya.

Pada makhluk hidup bersel banyak (*multiseluler*), pembelahan sel mengakibatkan bertambahnya sel-sel tubuh. Oleh karena itu, terjadilah proses pertumbuhan pada makhluk hidup. Pembelahan sel juga berlangsung pada sel kelamin atau sel gamet yang bertanggung jawab dalam proses perkawinan antar individu. Setelah dewasa, sel kelenjar kelamin pada tubuh manusia membelah membentuk sel-sel kelamin. Seorang laki-laki menghasilkan sperma di dalam testis, sedangkan wanita menghasilkan sel telur atau ovum di dalam ovarium.

Pada dasarnya, pembelahan sel dibedakan menjadi dua, yaitu **pembelahan secara langsung (amitosis)** dan **pembelahan secara tidak langsung (mitosis dan meiosis)**. Apa yang dimaksud dengan pembelahan sel secara langsung maupun tidak langsung tersebut? Kalian akan mengetahuinya dengan menyimak penjelasan berikut.

1. Pembelahan Sel secara Langsung

Proses pembelahan secara langsung disebut juga pembelahan **amitosis** atau **pembelahan biner**. Pembelahan biner merupakan proses pembelahan dari 1 sel menjadi 2 sel tanpa melalui fase-fase atau tahap-tahap pembelahan sel. Pembelahan biner banyak dilakukan organisme uniseluler (bersel satu), seperti bakteri, protozoa, dan mikroalga (alga bersel satu yang bersifat mikroskopis). Setiap terjadi pembelahan biner, satu sel akan membelah menjadi dua sel yang identik (sama satu sama lain). Dua sel ini akan membelah lagi menjadi empat, begitu seterusnya.



Gambar 4.1 Pembelahan amitosis pada bakteri.

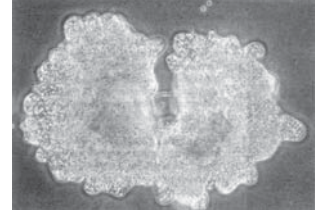
Pembelahan biner dimulai dengan pembelahan inti sel menjadi dua, kemudian diikuti pembelahan sitoplasma. Akhirnya, sel terbelah menjadi dua sel anakan. Pembelahan biner dapat terjadi pada organisme prokariotik atau eukariotik tertentu. Perbedaan antara organisme prokariotik dan eukariotik, terutama berdasarkan pada ada tidaknya membran inti selnya. Membran inti sel tersebut membatasi cairan pada inti sel (**nukleoplasma**) dengan cairan di luar inti sel, tempat terdapatnya organel sel (**sitoplasma**). Organisme **prokariotik** tidak mempunyai membran inti sel, sedangkan organisme **eukariotik** mempunyai membran inti sel. Oleh karena itu, eukariotik dikatakan mempunyai inti sel (nukleus) sejati.

Pembelahan biner pada organisme prokariotik terjadi pada bakteri. DNA bakteri terdapat pada daerah yang disebut **nukleoid**. DNA pada bakteri relatif lebih kecil dibandingkan dengan DNA pada sel eukariotik. DNA pada bakteri berbentuk tunggal, panjang dan sirkuler sehingga tidak perlu dikemas menjadi kromosom sebelum pembelahan. Proses pembelahan sel pada bakteri dapat kalian lihat pada Gambar 4.1.

Contoh organisme eukariotik yang mengalami pembelahan biner adalah Amoeba. Proses pembelahan sel pada Amoeba dapat kalian pelajari pada Gambar 4.2.

Nah, berdasarkan Gambar 4.1. dan 4.2. tersebut, untuk memudahkan pemahaman kalian maka lakukanlah rubrik *Telisik* berikut ini.

Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 1, hlm. 221



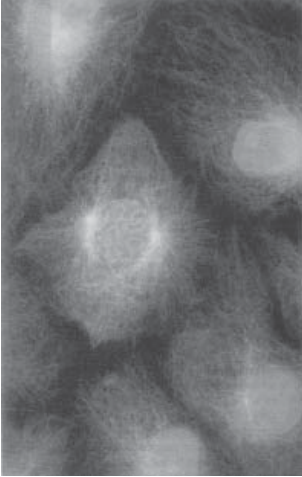
Gambar 4.2 Pembelahan biner pada Amoeba.

Telisik

Mengingat Struktur Sel Prokariotik dan Eukariotik

Gambarlah struktur sel prokariotik dan eukariotik beserta bagian-bagiannya. Berilah bingkai pada gambar kalian dan bila perlu kalian tempel di dinding ruang kelas kalian. Setelah mengetahui struktur sel, berdasarkan Gambar 4.1. dan 4.2, jelaskan dengan kata-kata kalian sendiri proses pembelahan biner pada Amoeba dan bakteri. Kalian dapat mencari dan menelusuri pelbagai literatur tentang pembelahan sel tersebut.

Setelah kalian memahami pembelahan sel secara langsung, simaklah materi berikutnya tentang pembelahan sel secara tidak langsung berikut ini.



Gambar 4.3
Kromosom pada sel yang siap membelah

2. Pembelahan Sel secara Tidak Langsung (Mitosis dan Meiosis)

Pembelahan sel secara tidak langsung adalah pembelahan yang melalui tahapan-tahapan tertentu. Setiap tahapan pembelahan ditandai dengan penampakan kromosom yang berbeda-beda. Kalian telah mengetahui bahwa di dalam inti sel terdapat **benang-benang kromatin**. Ketika sel akan membelah, benang-benang kromatin ini menebal dan memendek, yang kemudian disebut kromosom. Perhatikan Gambar 4.3. Kromosom dapat berikatan dengan warna tertentu, sehingga mudah diamati dengan mikroskop. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kromosom merupakan benang pembawa sifat. Di dalam kromosom terdapat gen sebagai faktor pembawa sifat keturunan.

Pada waktu sel sedang membelah, terjadi proses pembagian kromosom di dalamnya. Tingkah laku kromosom selama sel membelah dibedakan menjadi fase-fase atau tahap-tahap pembelahan sel. Pembelahan sel yang terjadi melalui fase-fase itulah yang disebut pembelahan secara tidak langsung. Mengenai fase-fase pembelahan mitosis akan dibahas pada subbab tersendiri.

Pembelahan sel secara tidak langsung dibedakan menjadi dua, yaitu pembelahan **mitosis** dan **meiosis**.

Sebelum kalian mempelajari lebih jauh tentang pembelahan sel secara tidak langsung, ada baiknya kalian lakukan rubrik *Diskusi* berikut ini.

Diskusi

Menurut kalian, apa yang akan terjadi apabila organisme di dunia ini tidak mengalami pembelahan sel? Apa yang akan terjadi jika manusia mempunyai kecepatan memperbanyak diri atau berkembangbiak secepat sel bakteri? Jelaskan dan diskusikan dengan teman kalian serta presentasikan argumen kalian di depan kelas.

Proses pertumbuhan dan perkembangan jaringan atau organ tubuh organisme terjadi melalui proses pembelahan sel secara mitosis. **Pembelahan mitosis** adalah pembelahan sel yang menghasilkan sel anakan dengan jumlah kromosom sama dengan jumlah kromosom induknya. Proses pembelahan mitosis terjadi pada semua sel tubuh makhluk hidup, kecuali pada jaringan yang menghasilkan gamet (sel kelamin).

Pada pembelahan mitosis, satu sel induk membelah diri menjadi dua sel anakan. Sel anakan ini mewarisi sifat sel induknya dan memiliki jumlah kromosom yang sama dengan induknya. Jika sel induk memiliki $2n$ kromosom, maka setiap sel anakan juga memiliki $2n$ kromosom. Jumlah $2n$ ini disebut juga kromosom **diploid**.

Pembelahan mitosis terjadi selama pertumbuhan dan reproduksi secara aseksual. Pada manusia dan hewan, pembelahan mitosis terjadi pada sel meristem somatik (sel tubuh) muda yang mengalami pertumbuhan dan perkembangan. Sebagai contoh, sel telur yang telah dibuahi sperma akan membelah beberapa kali secara mitosis untuk memben-

tuk embrio. Sel-sel pada embrio ini terus-menerus membelah secara mitosis dan akhirnya terbentuk bayi. Pertumbuhan manusia dari bayi hingga dewasa juga melalui mekanisme pembelahan sel secara mitosis. Inilah salah satu bentuk kekuasaan tuhan yang harus kita syukuri.

Pembelahan meiosis yang disebut juga sebagai **pembelahan reduksi** merupakan pembelahan sel induk dengan jumlah kromosom diploid ($2n$) menghasilkan empat sel anakan. Setiap sel anakan mengandung separuh kromosom sel induk atau disebut haploid (n). Pembelahan meiosis terjadi pada proses pembentukan sel gamet (sel kelamin) pada organ reproduksi (testis atau ovarium). Pada manusia atau hewan, sperma yang haploid dihasilkan di dalam testis dan sel telur yang juga haploid dihasilkan di dalam ovarium. Pada tumbuhan berbunga, sel gamet dihasilkan di dalam putik dan benang sari. Pembentukan gamet jantan dan gamet betina terjadi melalui tahapan gametogenesis (dibahas pada subbab tersendiri). Penyatuan kedua gamet akan menghasilkan zigot dengan variasi genetik. Ini disebabkan karena sel anakan merupakan hasil penyatuan dua sel yang berbeda materi genetiknya. Perpaduan ini menyebabkan adanya variasi genetik.

Uji Kompetensi

1. Apakah yang dimaksud dengan pembelahan sel?
2. Apakah peranan pembelahan sel pada organisme bersel satu dan organisme bersel banyak?
3. Jelaskan istilah kromatin dan kromosom pada proses pembelahan sel.

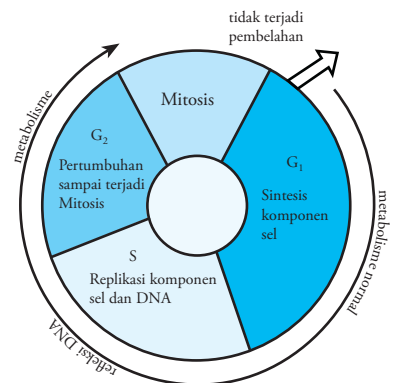
4. Pembelahan sel secara langsung disebut juga amitosis. Jelaskan maksudnya dan berilah contoh.
5. Apa yang dimaksud dengan pembelahan mitosis?
6. Apa yang dimaksud dengan pembelahan meiosis?
7. Di manakah terjadinya pembelahan mitosis dan meiosis pada hewan dan tumbuhan berbunga?

Kalian telah mengetahui pengertian pembelahan mitosis dan meiosis. Tahapan apa sajakah yang dilalui pada setiap pembelahan tersebut? Untuk mengetahui jawabannya, simaklah dengan saksama uraian berikut.

B. Tahapan Pembelahan Mitosis

Pembelahan sel secara mitosis meliputi sejumlah tahapan tertentu. Sebenarnya, pembelahan mitosis hanyalah sebagian kecil dari **siklus sel**. Siklus sel terdiri dari fase pembelahan mitosis (M) dan periode pertumbuhan yang disebut interfase. Interfase merupakan bagian terbesar dari siklus sel. Interfase terdiri dari tiga sub fase, yaitu **fase G1 (pertumbuhan primer)**, **fase S (sintesis)**, dan **fase G2 (pertumbuhan sekunder)**. Perhatikan Gambar 4.4.

Pembelahan mitosis merupakan pembelahan yang menghasilkan sel-sel tubuh (sel somatik). Secara garis besar, pembelahan sel secara mitosis terdiri dari fase istirahat (**interfase**), fase pembelahan



Gambar 4.4 Siklus mitosis

inti sel (**kariokinesis**), dan fase **pembelahan sitoplasma (sitokinesis)**. Bagaimanakah ciri-ciri setiap fase pembelahan tersebut? Untuk mengetahuinya, simaklah penjelasan berikut.

1. Interfase (Fase Istirahat)

Pada tahap ini, sel dianggap sedang istirahat dan tidak melakukan pembelahan. Namun, interfase merupakan tahap yang penting untuk mempersiapkan pembelahan atau melakukan metabolisme sel. Pada interfase, tingkah laku kromosom tidak tampak karena berbentuk benang-benang kromatin yang halus. Walaupun begitu, sel anak yang baru terbentuk sudah melakukan metabolisme. Sel perlu tumbuh dan melakukan berbagai sintesis sebelum memasuki proses pembelahan berikutnya.

Apa saja kegiatan sel pada saat interfase? Pada saat interfase, sel mengalami subfase berikut.

a. Fase Pertumbuhan Primer (*Growth 1* disingkat *G1*)

Sel yang baru terbentuk mengalami pertumbuhan tahap pertama. Pada subfase ini, sel-sel belum mengadakan replikasi DNA yang masih bersifat $2n$ (diploid). Sementara organel-organel yang ada di dalam sel, seperti mitokondria, retikulum endoplasma, kompleks golgi, dan organel lainnya memperbanyak diri guna menunjang kehidupan sel.

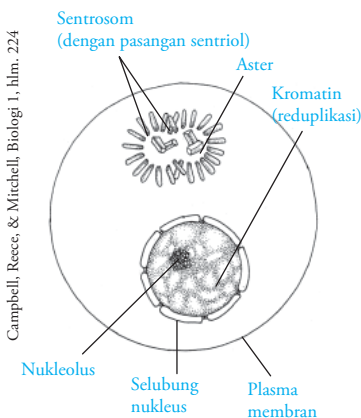
b. Fase Sintesis (S)

Pada subfase ini, sel melakukan sintesis materi genetik. Materi genetik adalah bahan-bahan yang akan diwariskan kepada keturunannya, yaitu DNA. DNA dalam inti sel mengalami replikasi (penggandaan jumlah salinan). Jadi, subfase sintesis (penyusunan) menghasilkan 2 salinan DNA.

c. Fase Pertumbuhan Sekunder (*Growth 2* disingkat *G2*)

Setelah DNA mengalami replikasi, subfase berikutnya adalah pertumbuhan sekunder (G_2). Pada subfase ini, sel memperbanyak organel-organel yang dimilikinya. Ini bertujuan agar organel-organel tersebut dapat diwariskan kepada setiap sel turunannya. Pada subfase ini, replikasi DNA telah selesai dan sel bersiap-siap mengadakan pembelahan secara mitosis. Selain itu, inti sel (nukleus) telah terbentuk dengan jelas dan terbungkus membran inti. Perhatikan Gambar 4.5.

Pada subfase ini, inti sel mempunyai satu atau lebih nukleolus (membran inti sel). Di luar inti terdapat dua **sentrosom** yang terbentuk oleh replikasi **sentrosom** pada tahap sebelumnya. Sentrosom mengalami perpanjangan menyebar secara radial yang disebut aster (bintang). Pada sentrosom terdapat sepasang sentriol yang berfungsi menentukan orientasi pembelahan sel. Walaupun kromosom telah diduplikasi pada fase S, namun pada fase G_2 , kromosom belum dapat dibedakan secara individual karena masih berupa benang-benang kromatin.



Gambar 4.5 Pada fase G_2 (interfase akhir), inti sel sudah terbentuk dengan jelas dan terbungkus membran inti sel.

Setelah ketiga tahapan interfase dilalui, sel telah siap menjalani pembelahan secara mitosis. Seperti fase interfase, pembelahan mitosis juga terdiri dari beberapa fase. Untuk mengetahui lebih jauh tentang fase-fase pada pembelahan mitosis, simaklah penjelasan berikut.

2. Pembelahan Mitosis

Kalian telah mengetahui bahwa pembelahan mitosis menghasilkan sel anakan yang identik dengan induknya. Secara garis besar, fase pembelahan mitosis terbagi menjadi dua fase, yaitu fase pembelahan inti (**kariokinesis**) dan fase pembelahan sitoplasma (**sitokinesis**).

Kariokinesis adalah fase pembelahan inti sel. Secara rinci, fase kariokinesis dibagi menjadi empat subfase, yaitu **profase**, **metafase**, **anafase**, dan **telofase**. Sekarang, marilah kita bahas keempat subfase tersebut.

a Profase

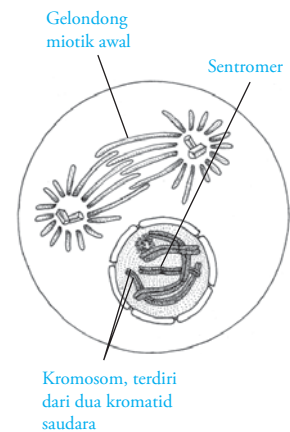
Pada permulaan profase, di dalam nukleus mulai terbentuk kromosom, yaitu benang-benang rapat dan padat yang terbentuk akibat menggulungnya kromatin. Pada fase ini, kromosom dapat dilihat menggunakan mikroskop. Selanjutnya, nukleolus menghilang dan terjadi duplikasi kromosom (kromosom membelah dan memanjang) menghasilkan 2 kromosom anakan yang disebut **kromatid**. Kedua kromatid tersebut bersifat identik sehingga disebut **kromatid kembar** (*sister chromatid*), yang bersatu atau dihubungkan oleh **sentromer** pada lekukan kromosom. Perhatikan Gambar 4.6. Sentromer merupakan bagian kromosom yang menyempit, tampak lebih terang dan membagi kromosom menjadi 2 lengan.

Pada akhir profase, di dalam sitoplasma mulai terbentuk **gelendong pembelahan** (**spindel**) yang berasal dari mikrotubulus. Mikrotubulus tersebut memanjang, seolah-olah mendorong dua sentrosom di sepanjang permukaan inti sel (nukleus). Akibatnya, sentrosom saling menjauh. Proses ini kemudian berlanjut ke fase berikutnya, yaitu metafase.

b Metafase

Tahap awal metafase (prometafase) ditandai dengan semakin memadatnya kromosom (kromosom ini terdiri dari 2 kromatid) dan terpecahnya membran inti (membran nukleus). Hal ini menyebabkan mikrotubulus dapat menembus inti sel dan melekat pada struktur khusus di daerah sentromer setiap kromatid, disebut **kinetokor**. Oleh karena itu, kinetokor ini berfungsi sebagai tempat bergantung bagi kromosom.

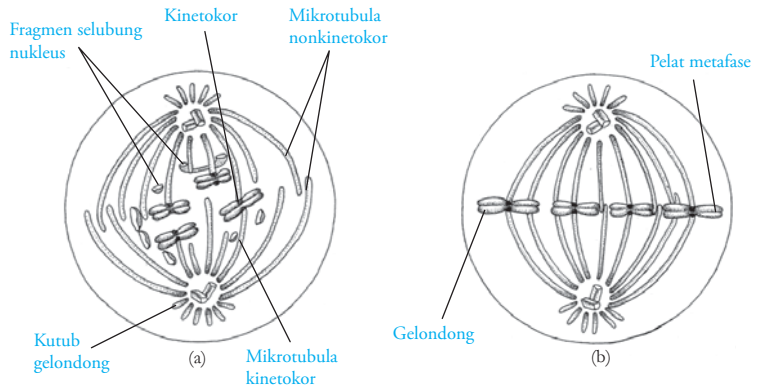
Sebagian mikrotubulus yang melekat pada kinetokor disebut **mikrotubulus kinetokor**, sedangkan mikrotubulus yang tidak memperoleh kinetokor disebut **mikrotubulus non kinetokor**. Sementara itu, mikrotubulus non kinetokor berinteraksi dengan mikrotubulus lain dari kutub sel yang berlawanan. Pada metafase, kromosom tampak jelas.



Gambar 4.6 Profase ditandai dengan terbentuknya kromosom

Gambar 4.7

(a) Metafase awal (prometafase) ditandai dengan interaksi kromosom dan mikrotubulus. (b) Metafase ditandai dengan adanya bidang metafase sebagai tempat kromosom berbagi DNA pada setiap kromatid.



Pada tahap metafase sesungguhnya, sentrosom telah berada pada kutub sel. Dinding inti sel menghilang. Sementara itu, kromosom menempatkan diri pada bidang pembelahan yang disebut bidang metafase. Bidang ini merupakan bidang khayal yang terletak tepat di tengah sel, seperti garis katulistiwa bumi sehingga disebut juga **bidang ekuator**. Pada bidang ini, sentromer dari seluruh kromosom terletak pada satu baris yang tegak lurus dengan gelondong pembelahan. Kinetokor pada setiap kromatid menghadap pada kutub yang berlainan (perhatikan Gambar 4.7). Dengan letak kromosom berada di bidang pembelahan, maka pembagian jumlah informasi DNA yang akan diberikan kepada sel anakan yang baru, benar-benar rata dan sama jumlahnya. Tahapan ini merupakan akhir dari metafase.

c Anafase

Setelah berakhirnya tahap metafase, pembelahan sel berlanjut pada tahap anafase. Tahap anafase ditandai dengan berpisahannya kromatid saudara pada bagian sentromer kromosom. Gerak kromatid ini disebabkan tarikan benang mikrotubulus yang berasal dari sentriol pada kutub sel. Kalian telah mengetahui bahwa mikrotubulus melekat pada sentromer. Hal ini menyebabkan sentromer tertarik terlebih dahulu. Akibatnya, sentromer berada di depan dan bagian lengan kromatid berada di belakang. Struktur ini seperti huruf V. Gerakan ini menempuh jarak sekitar 1µm (10⁻⁶ meter) tiap menit. Pada saat bersamaan, mikrotubulus non kinetokor semakin memanjang sehingga jarak kedua kutub sel semakin jauh. Selanjutnya, masing-masing kromatid bergerak ke arah kutub yang berlawanan dan berfungsi sebagai kromosom lengkap, dengan sifat keturunan yang sama (identik). Untuk menjalankan tugasnya ini, mikrotubulus telah mengalami peruraian pada bagian kinetokornya. Lalu bagaimanakah bidang pembelahan sel pada hewan dan tumbuhan?

Salah satu perbedaan sel tumbuhan dan sel hewan adalah ada tidaknya sentriol. Pada sel tumbuhan, peran sentriol digantikan oleh kromosom sehingga arah pembelahan tetap menuju ke kutub sel. Pada sel hewan, sentriol pada kutub sel merupakan arah yang dituju oleh gerakan kromatid saat pembelahan.



Gambar 4.8 Tahap pembelahan anafase ditandai berpisahannya pasangan kromatid ke kutub berlawanan.

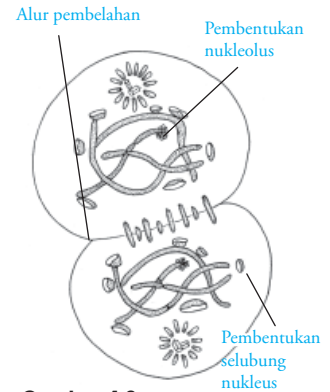
d Telofase

Pada tahap telofase ini, inti sel anakan terbentuk kembali dari fragmen-fragmen nukleus. Bentuk selnya memanjang akibat peran mikrotubulus non kinetokor. Benang-benang kromatin mulai longgar. Dengan demikian, fase kariokinesis yang menghasilkan dua inti sel anak yang identik secara genetik telah berakhir, namun dua inti sel masih berada dalam satu sel. Perhatikan Gambar 4.9.

Agar kedua inti terpisah menjadi sel baru, perlu adanya pembelahan sitoplasma yang disebut **sitokinesis**. Sitokinesis terjadi, segera setelah telofase selesai. Pada fase sitokinesis terjadi pembelahan sitoplasma diikuti pembentukan sekat sel baru, sehingga terbentuk dua sel anakan.

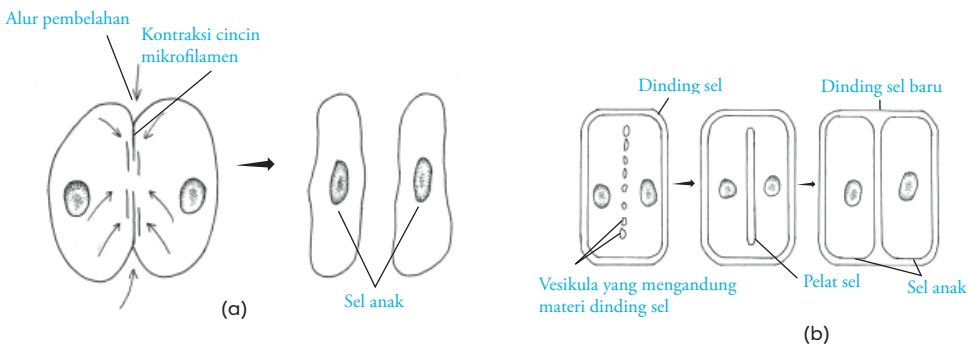
Pada sel hewan, sitokinesis ditandai dengan pembentukan alur pembelahan melalui pelekukan permukaan sel di sekitar bekas bidang ekuator. Di sepanjang alur melingkar, terdapat mikrofilamen yang terdiri dari protein aktin dan miosin. Protein tersebut berperan dalam kontraksi otot atau pergerakan sel yang lain. Kontraksi ini semakin ke dalam sehingga menjepit sel dan membagi isi sel menjadi 2 bagian yang sama.

Berbeda dengan sel hewan, sel tumbuhan mempunyai dinding sel yang keras. Oleh karena itu, pada sitokinesis tidak terbentuk alur pembelahan. Sitokinesis terjadi dengan pembentukan pelat sel (*cell plate*) yang terbentuk oleh vesikula di sekitar bidang ekuator. Vesikula-vesikula yang dibentuk oleh badan golgi tersebut saling bergabung. Penggabungan juga terjadi dengan membran plasma diikuti terbentuknya dinding sel yang baru oleh materi dinding sel yang dibawa oleh vesikula. Perhatikan Gambar 4.10.



Gambar 4.9
Tahap telofase merupakan tahap akhir kariokinesis.

Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 1, hlm. 225



Gambar 4.10

- (a) Sitokinesis pada sel hewan
- (b) Sitokinesis pada sel tumbuhan

Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 1, hlm. 228

Kalian telah mempelajari tahap-tahap pembelahan sel hewan, dan sedikit menyinggung pembelahan sel tumbuhan. Pembelahan pada sel hewan dan sel tumbuhan memang sedikit berbeda. Di manakah letak perbedaannya? Untuk mengetahuinya, lakukan *Percobaan* di halaman berikutnya.

Percobaan

Tahap Mitosis pada Ujung Akar Bawang Putih (*Allium sativum*)

A. Dasar Teori

Pembelahan mitosis merupakan pembelahan yang terjadi pada sel-sel tubuh (sel somatik). Pembelahan mitosis terjadi melalui fase istirahat (interfase), profase, metafase, anafase, dan telofase serta sitokinesis. Pembelahan mitosis pada tanaman terjadi pada jaringan-jaringan meristem yang sel-selnya aktif membelah, seperti sel pada ujung akar, ujung batang, dan kambium. Pembelahan mitosis menghasilkan dua sel anakan yang identik dengan sel induknya.

B. Tujuan

Mengetahui dan memahami tahapan mitosis pada ujung akar, khususnya akar bawang putih dan menemukan perbedaan pembelahan sel hewan dan sel tumbuhan.

C. Alat dan Bahan

1. Cawan Petri (*petridish*)
2. Gelas benda dan kaca penutup
3. Silet atau *cutter*
4. Pipet tetes
5. Jarum jala
6. Lampu spiritus
7. Mikroskop
8. Kertas tisu
9. Karton hitam
10. Air
11. Larutan fiksatif *carnoy* (etanol: kloroform : asam asetat glacial perbandingan 6:3:1)
12. Kloroform atau asam asetat 45%
13. Larutan HCl 1 N
14. Larutan asetoorcein
15. Bawang putih segar
16. *Cutex*

D. Langkah Percobaan

1. Sebelumnya, kalian tumbuhkan akar bawang putih dengan langkah sebagai berikut:
 - a. Bersihkan bagian pangkal bawang putih dari sisa-sisa akar. Kemudian, masukkan ke dalam cawan Petri yang telah diisi air agar bagian pangkal bawang sedikit terendam.
 - b. Bungkus cawan Petri dengan karton hitam, lalu letakkan di tempat yang gelap dan hangat. Tambahkan air secara kontinyu agar bagian pangkal bawang tetap terendam. Tunggulah tumbuhnya akar bawang putih tersebut setelah satu minggu.
2. Setelah akar tumbuh, potong akar bawang putih sekitar 3-5 mm dari ujung akar dengan hati-hati. Bila tidak segera digunakan, preparat dapat diawetkan pada larutan fiksatif *carnoy*.
3. Cucilah akar tersebut dengan akuades 2 kali dan difiksasi dengan asam asetat 45% pada suhu 4° C selama 15 menit.
4. Cucilah kembali ujung akar tersebut, kemudian pindahkan potongan akar ke dalam gelas benda yang telah ditetesi HCl 1 N. Panaskan pada suhu 55° C selama 2-5 menit sehingga ujung akar menjadi lunak.
5. Ujung-ujung akar tersebut dicuci bersih dan warnailah dengan asetoorcein 1% selama 30 menit.

6. Setelah terwarnai, pindahkan potongan akar pada gelas benda menggunakan jarum jala dan seraplah bagian pinggirnya dengan tisu. Lalu teteskan gliserin dan haluskan potongan akar menggunakan jarum jala.
7. Letakkan potongan akar pada gelas benda, tutup dengan kaca penutup. Lekatkan dengan *cutex*. Tekan pelan-pelan kaca penutup agar potongan akar menjadi pipih.
8. Amati preparat menggunakan mikroskop.
9. Gambarlah sel-sel ujung akar yang tampak. Kemudian, identifikasikan tahap-tahap pembelahan yang sedang berlangsung.

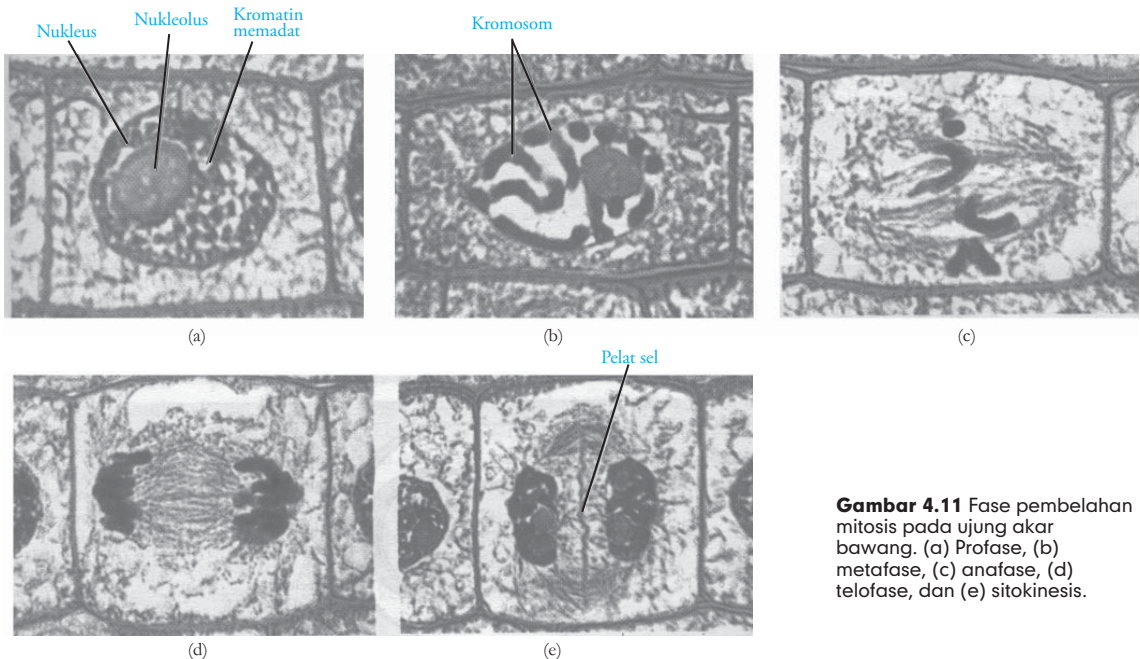
Perhatian dan Catatan:

- a. Hati-hatilah dalam menggunakan larutan HCl karena larutan ini berbahaya bagi kulit.
- b. Fiksatif berfungsi memelihara keadaan sel agar tidak melanjutkan proses pembelahan.

E. Pembahasan

1. Adakah bagian akar bawang bombay yang sedang mengalami interfase, profase, metafase, anafase, telofase, dan sitokinesis? Ciri-ciri apakah yang tampak pada setiap fase tersebut?
2. Apakah pada sel tumbuhan yang kalian amati terdapat sentriol? Jika tidak ada, apakah yang berperan dalam orientasi pembelahan sel?
3. Bagaimanakah jumlah kromosom pada sel akar bawang pada setiap tahap pembelahan?
4. Kadang kala dijumpai sel-sel yang sedang tidak membelah pada ujung akar bawang bombay. Jelaskan kemungkinan yang terjadi pada peristiwa ini.
5. Buatlah tabel perbedaan antara pembelahan sel pada hewan dan tumbuhan.

Bagaimanakah hasil percobaan kalian? Dengan melakukan percobaan tersebut, tentunya kalian telah mengetahui perbedaan antara pembelahan sel hewan dan sel tumbuhan. Coba bandingkan fase-fase pembelahan mitosis pada ujung akar bawang bombay hasil pengamatan kalian dengan gambar berikut ini:



Gambar 4.11 Fase pembelahan mitosis pada ujung akar bawang. (a) Profase, (b) metafase, (c) anafase, (d) telofase, dan (e) sitokinesis.

Nah, berdasarkan gambar dan hasil pengamatan kalian, pembelahan mitosis pada ujung akar bawang bombay dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Tahap profase dimulai dengan memadatnya benang kromatin. Meskipun tampak jelas, nukleolus akan segera menghilang. Selain itu, gelendong pembelahan mulai terbentuk walaupun belum terlihat pada mikroskop.
2. Tahap metafase awal (prometafase) dimulai dengan pemisahan kromosom. Setiap kromosom terdiri dari dua kromatid berpasangan. Pada fase ini, membran nukleus terfragmentasi dan mikrotubulus kinetokor melekat pada sentromer. Pada tahap metafase, gelendong terbentuk lengkap. Kromosom ditarik dengan kuat oleh mikrotubulus kinetokor yang datang dari kutub sel berlawanan. Akhirnya, kromosom berbaris pada bidang metafase.
3. Tahap anafase ditandai dengan pemisahan kromosom. Kromosom anak berpindah ke kutub-kutub sel seiring memendeknya mikrotubulus kinetokor.
4. Tahap telofase ditandai dengan terbentuknya inti sel (nukleus) anak. Pada tahap ini, sitokinesis mulai terjadi. Pelat sel yang membagi sitoplasma menjadi dua, mulai tumbuh di sekeliling sel induknya. Kemudian dua sel anak terpisah, seperti tampak pada Gambar 4.11.

Dari keterangan tersebut tampak bahwa pada sel tumbuhan tidak terdapat sentriol. Orientasi pembelahan dilakukan secara langsung oleh kromosom.

Mudah dan mengasyikkan bukan? Agar tahu sejauh mana pemahaman kalian, coba kerjakan *Uji Kompetensi* di bawah ini.

Uji Kompetensi

Kerjakanlah soal-soal berikut ini.

1. Apa yang perlu dilakukan sel sebelum mengalami pembelahan?
2. Jelaskan pengertian dan tahapan siklus sel.
3. Sebutkan tahapan-tahapan pada interfase sebelum sel membelah secara mitosis.
4. Sebutkan ciri-ciri setiap tahap pembelahan mitosis. Kemudian, gambarkan proses yang terjadi pada setiap tahapan.
5. Jelaskan fungsi sentriol dan sentromer dalam pembelahan mitosis.
6. Hasil pembelahan mitosis adalah dua sel yang identik. Begaimanakah penjelasan pernyataan tersebut?
7. Sebutkan perbedaan pembelahan mitosis pada sel hewan dan sel tumbuhan.
8. Jelaskan dengan gambar fase pembelahan mitosis pada sel tumbuhan.

Kalian telah mempelajari proses-proses yang terjadi pada pembelahan mitosis. Sekarang, marilah mempelajari proses-proses yang terjadi pada pembelahan sel secara meiosis. Untuk lebih lengkapnya, simaklah penjelasan berikut.

C. Pembelahan Meiosis

Pernahkah kalian berpikir mengapa seekor kambing hanya melahirkan kambing, manusia melahirkan manusia, atau sapi melahirkan sapi? Secara kodrati, makhluk hidup tertentu hanya melahirkan makhluk yang sejenis. Ini dikarenakan adanya mekanisme tertentu pada saat awal perkembangbiakan. Bahkan, sebelum terbentuk calon anak di dalam rahim, mekanisme ini sudah dimulai. Mekanisme ini dimulai pada sel-sel kelamin (sel reproduksi) calon bapak dan calon ibu. Mekanisme tersebut adalah pembelahan sel secara **meiosis**.

Makhluk hidup yang sejenis mempunyai jumlah kromosom yang sama pada setiap sel. Misalnya, manusia mempunyai 46 kromosom, kecuali pada sel reproduksi atau sel kelaminnya. Sel kelamin pada manusia hanya mempunyai setengah jumlah kromosom sel tubuh lainnya, yaitu 23 kromosom. Jumlah setengah kromosom (haploid) ini diperlukan untuk menjaga agar jumlah kromosom anak tetap 46. Kalian telah mengetahui bahwa anak terbentuk dari perpaduan antara sel kelamin betina (sel telur) dan sel kelamin jantan (sperma). Perpaduan kedua sel kelamin yang masing-masing memiliki 23 kromosom ini akan menghasilkan sel anak (calon janin) yang mempunyai 46 kromosom. Oleh sebab itu, pembelahan meiosis sangat berpengaruh dalam perkembangan makhluk hidup.

Pembelahan meiosis disebut juga pembelahan **reduksi**, yaitu pengurangan jumlah kromosom pada sel-sel kelamin (sel gamet jantan dan sel gamet betina). Sel gamet jantan pada hewan (mamalia) dibentuk di dalam testis dan gamet betinanya dibentuk di dalam ovarium. Gamet jantan pada tumbuhan dibentuk di dalam organ reproduktif berupa benang sari, sedangkan gamet betinanya dibentuk di dalam putik. Sel kelamin betina pada hewan berupa sel telur, sedangkan pada tumbuhan berupa putik. Pada dasarnya, tahap pembelahan meiosis serupa dengan pembelahan mitosis. Hanya saja, pada meiosis terjadi dua kali pembelahan, yaitu **meiosis I** dan **meiosis II**. Masing-masing pembelahan meiosis terdiri dari tahap-tahap yang sama, yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase. Bagaimanakah ciri-ciri setiap tahap pembelahan meiosis tersebut? Kalian akan mengetahuinya setelah mempelajari uraian berikut.

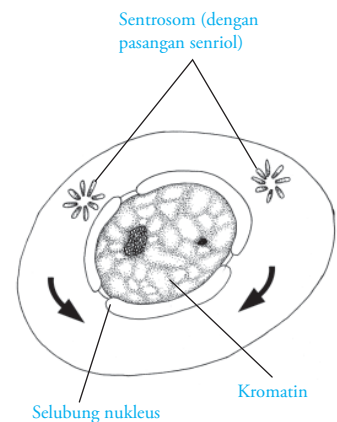
1. Tahap Meiosis I

Seperti halnya pembelahan mitosis, sebelum mengalami pembelahan meiosis, sel kelamin perlu mempersiapkan diri. Fase persiapan ini disebut tahap **interfase**. Pada tahap ini, sel melakukan persiapan berupa penggandaan DNA dari satu salinan menjadi dua salinan (seperti interfase pada mitosis). Tingkah laku kromosom masih belum jelas terlihat karena masih berbentuk benang-benang halus (kromatin) sebagaimana interfase pada mitosis. Selain itu, sentrosom juga bereplikasi menjadi dua (masing-masing dengan 2 sentriol), seperti tampak pada gambar di samping. Sentriol berperan dalam menentukan arah pembelahan sel.

Galeri

Pada manusia, ovulasi satu ovum berlangsung secara bergantian dari ovarium kiri atau kanan, biasanya setiap 28 hari sekali. Jika ovulasi berlangsung sejak usia 14 tahun hingga 40 tahun, maka banyaknya ovum yang dihasilkan wanita sekitar $26 \times 13 = 338$ ovum. Padahal sebenarnya sejak lahir, setiap wanita mengandung 400.000 oosit primer. Ini berarti bahwa tidak semua oosit primer dapat tumbuh menjadi ovum karena mengalami kematian.

Kwan & Lam, *Biology*, hlm. 343

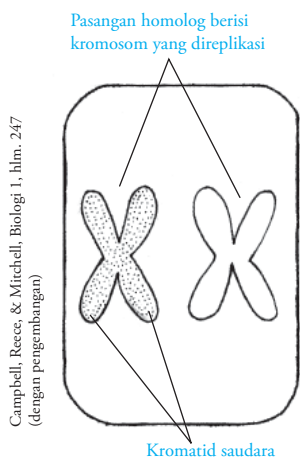


Gambar 4.12 Tahap interfase pada pembelahan meiosis.

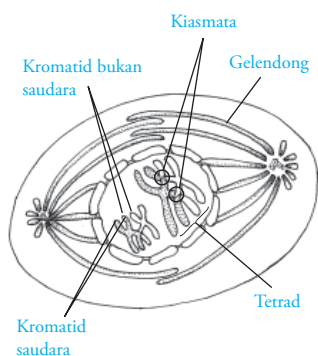
Setelah terbentuk salinan DNA, barulah sel mengalami tahap pembelahan meiosis I yang diikuti tahap meiosis II. Tahap meiosis I terdiri atas profase I, metafase I, anafase I, dan telofase I, serta sitokinesis I. Bagaimanakah ciri-ciri setiap fase pembelahan tersebut? Berikut akan dibahas fase-fase meiosis I pada sel hewan dengan 4 kromosom diploid ($2n = 2$). Untuk lebih jelasnya, simaklah penjelasan di bawah ini.

a. Profase I

Pada tahap meiosis I, profase I merupakan fase terpanjang atau terlama dibandingkan fase lainnya bahkan lebih lama daripada tahap profase pada pembelahan mitosis. Profase I dapat berlangsung dalam beberapa hari. Biasanya, profase I membutuhkan waktu sekitar 90% dari keseluruhan waktu yang dibutuhkan dalam pembelahan meiosis. Tahapan ini terdiri dari lima subfase, yaitu **leptoten**, **zigoten**, **pakiten**, **diploten**, dan **diakinesis**.



Gambar 4.13 Pasangan kromosom homolog berbeda dengan kromatid saudara.



Gambar 4.14 Terbentuknya tetrad pada subfase pakiten.

1) Leptoten

Subfase leptoten ditandai adanya benang-benang kromatin yang memendek dan menebal. Pada subfase ini mulai terbentuk sebagai **kromosom homolog**. Kalian perlu membedakan kromosom homolog dengan kromatid saudara. Gambar 4.13 memperlihatkan perbedaan pasangan kromosom homolog dengan kromatid saudara.

2) Zigoten

Kromosom homolog saling berdekatan atau berpasangan menurut panjangnya. Peristiwa ini disebut **sinapsis**. Kromosom homolog yang berpasangan ini disebut **bivalen** (terdiri dari 2 kromosom homolog). Amati kembali Gambar 4.13.

3) Pakiten

Kromatid antara kromosom homolog satu dengan kromosom homolog yang lain disebut sebagai kromatid bukan saudara (*non sister chromatids*). Dengan demikian, pada setiap kelompok sinapsis terdapat 4 kromatid (1 pasang kromatid saudara dan 1 pasang kromatid bukan saudara). Empat kromatid yang membentuk pasangan sinapsis ini disebut **tetrad** (Gambar 4.14).

4) Diploten

Setiap bivalen mengandung empat kromatid yang tetap berkaitan atau berpasangan di suatu titik yang disebut **kiasma** (tunggal). Apabila titik-titik perlekatan tersebut lebih dari satu disebut **kiasmata**. Proses perlekatan atau persilangan kromatid-kromatid disebut **pindah silang** (*crossing over*). Pada proses pindah silang, dimungkinkan terjadinya pertukaran materi genetik (DNA) dari homolog satu ke homolog lainnya. Pindah silang inilah yang memengaruhi variasi genetik sel anakan.

5) Diakinesis

Pada subfase ini terbentuk benang-benang spindle pembelahan (gelendong mikrotubulus). Sementara itu, membran inti sel atau karioteka dan nukleolus mulai lenyap.

Profase I diakhiri dengan terbentuknya **tetrad** yang membentuk dua pasang kromosom homolog. Perhatikan lagi Gambar 4.14. Setelah profase I berakhir, kromosom mulai bergerak ke bidang metafase.

b. Metafase I

Pada metafase I, kromatid hasil duplikasi kromosom homolog berjajar berhadap-hadapan di sepanjang daerah ekuatorial inti (bidang metafase I). Membran inti mulai menghilang. Mikrotubulus kinetokor dari salah satu kutub melekat pada satu kromosom di setiap pasangan. Sementara mikrotubulus dari kutub berlawanan melekat pada pasangan homolognya. Dalam hal ini, kromosom masih bersifat diploid. Perhatikan Gambar 4.15.

c. Anafase I

Setelah tahap metafase I selesai, gelendong mikrotubulus mulai menarik kromosom homolog sehingga pasangan kromosom homolog terpisah dan masing-masing menuju ke kutub yang berlawanan (Gambar 4.16). Peristiwa ini mengawali tahap anafase I. Namun, kromatid saudara masih terikat pada sentromernya dan bergerak sebagai satu unit tunggal. Inilah perbedaan antara anafase pada mitosis dan meiosis. Pada mitosis, mikrotubulus memisahkan kromatid yang bergerak ke arah berlawanan. Coba pelajari lagi tahap anafase pada mitosis.

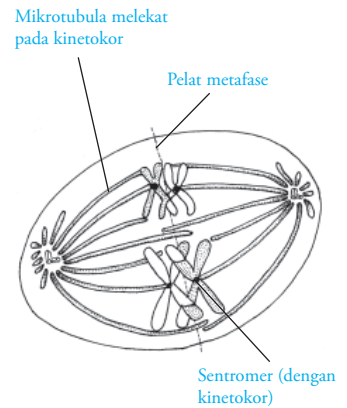
d. Telofase I

Pada telofase, setiap kromosom homolog telah mencapai kutub-kutub yang berlawanan. Ini berarti setiap kutub mempunyai satu set kromosom haploid. Akan tetapi, setiap kromosom tetap mempunyai dua kromatid kembar. Pada fase ini, membran inti muncul kembali. Peristiwa ini kemudian diikuti tahap selanjutnya, yaitu sitokinesis.

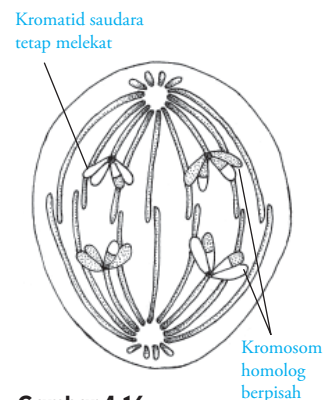
e. Sitokinesis

Kalian masih ingat pengertian sitokinesis pada sel hewan maupun tumbuhan bukan? Ya, sitokinesis merupakan proses pembelahan sitoplasma. Tahap sitokinesis terjadi secara simultan dengan telofase. Artinya, terjadi secara bersama-sama. Tahap ini merupakan tahap di antara dua pembelahan meiosis. Alur pembelahan atau pelat sel mulai terbentuk (Gambar 4.17). Pada tahap ini tidak terjadi perbanyakan (replikasi) DNA.

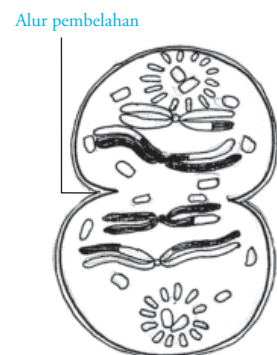
Hasil pembelahan meiosis I menghasilkan dua sel haploid yang mengandung setengah jumlah kromosom homolog. Meskipun demikian, kromosom tersebut masih berupa kromatid saudara (kandungan DNA-nya masih rangkap). Untuk menghasilkan sel anakan yang mempunyai kromosom haploid diperlukan proses pembelahan selanjutnya, yaitu meiosis II. Jarak waktu antara meiosis I dengan meiosis II disebut dengan **interkinesis**.



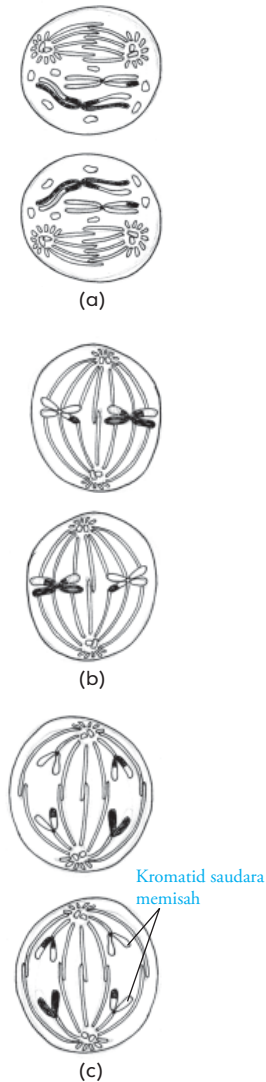
Gambar 4.15 Kromosom homolog berjajar pada bidang metafase.



Gambar 4.16 Kromosom homolog mulai bergerak menuju kutub sel.



Gambar 4.17 Kromosom homolog mulai bergerak menuju kutub sel. Tahap ini disertai sitokinesis.



Gambar 4.18

- (a) Setiap sel anakan hasil meiosis I mengalami profase II.
 (b) Pada anafase II, kromatid bergerak ke kutub berlawanan.
 (c) Setiap kromosom (pasangan kromatid) berada di bidang metafase.

Jadi, tujuan meiosis II adalah membagi kedua salinan DNA pada sel anakan yang baru hasil dari meiosis I. Meiosis II terjadi pada tahap-tahap yang serupa seperti meiosis I. Nah, untuk mengetahui lebih lanjut tentang tahap meiosis II, perhatikan uraian selanjutnya.

2. Tahap Meiosis II

Tahap meiosis II juga terdiri dari profase, metafase, anafase, dan telofase. Tahap ini merupakan kelanjutan dari tahap meiosis I. Masing-masing sel anakan hasil pembelahan meiosis I akan membelah lagi menjadi dua. Sehingga, ketika pembelahan meiosis telah sempurna, dihasilkan empat sel anakan. Hal yang perlu diingat adalah bahwa jumlah kromosom keempat sel anakan ini tidak lagi diploid ($2n$) tetapi sudah haploid (n). Proses pengurangan jumlah kromosom ini terjadi pada tahap meiosis II. Bagaimanakah proses pengurangan jumlah kromosom ini terjadi? Kalian akan mengetahuinya setelah mempelajari uraian di bawah ini.

a. Profase II

Fase pertama pada tahap pembelahan meiosis II adalah profase II (Gambar 4.18a). Pada fase ini, kromatid saudara pada setiap sel anakan masih melekat pada sentromer kromosom. Sementara itu, benang mikrotubulus mulai terbentuk dan kromosom mulai bergerak ke arah bidang metafase. Tahap ini terjadi dalam waktu yang singkat karena diikuti tahap berikutnya.

b. Metafase II

Pada metafase II, setiap kromosom yang berisi dua kromatid, merentang atau berjajar pada bidang metafase II (Gambar 4.18b). Pada tahap ini, benang-benang spindel (benang mikrotubulus) melekat pada kinetokor masing-masing kromatid.

c. Anafase II

Fase ini mudah dikenali karena benang spindel mulai menarik kromatid menuju ke kutub pembelahan yang berlawanan. Akibatnya, kromosom memisahkan kedua kromatidnya untuk bergerak menuju kutub yang berbeda (Gambar 4.18c). Kromatid yang terpisah ini selanjutnya berfungsi sebagai kromosom individual.

d. Telofase II

Pada telofase II, kromatid yang telah menjadi kromosom mencapai kutub pembelahan. Hasil akhir telofase II adalah terbentuknya 4 sel haploid, lengkap dengan satu salinan DNA pada inti selnya (nuklei).

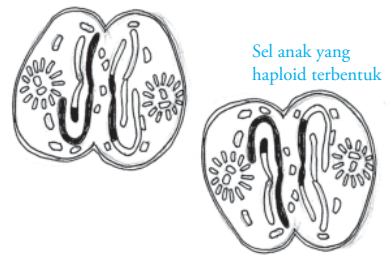
e. Sitokinesis II

Selama telofase II, terjadi pula sitokinesis II, ditandai adanya sekat sel yang memisahkan tiap inti sel. Akhirnya terbentuk 4 sel kembar yang haploid.

Berdasarkan uraian di depan, sel-sel anakan sebagai hasil pembelahan meiosis mempunyai sifat genetik yang bervariasi satu

sama lain. Variasi genetik yang dibawa sel kelamin orang tua menyebabkan munculnya keturunan yang bervariasi juga. Dapatkah kalian menunjukkan bagaimana mekanisme variasi genetik sel anakan ini? Untuk mengetahuinya, simaklah penjelasan berikut.

Kalian telah mempelajari pembelahan sel secara mitosis dan meiosis. Pembelahan mitosis dan meiosis merupakan pembelahan yang berbeda satu sama lain. Bagaimanakah perbedaan antara mitosis dan meiosis? Coba kalian perhatikan Tabel 4.1 berikut.



Gambar 2.19 Pada telofase II yang disertai sitokinesis II, dihasilkan empat sel anak haploid.

Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 1, hlm. 249

Tabel 4.1. Perbedaan mitosis dan meiosis

Pembeda	Mitosis	Meiosis
a. Replikasi DNA	Pada interfase	Pada interfase, sebelum meiosis I.
b. Tahap pembelahan	Satu kali, meliputi profase, metafase, anafase, telofase, dan sitokinesis.	Dua kali, yaitu meiosis I dan meiosis II. Meiosis I meliputi profase I (leptoten, zigoten, pakiten, diploten, dan diakinesis). Meiosis II meliputi profase II, metafase II, anafase II, telofase II, dan sitokinesis II.
c. Sinapsis	Tidak terjadi	Pada profase I
d. Jumlah dan sifat sel anakan	Dua sel, masing-masing diploid (2n) dan identik secara genetik dengan induknya.	Empat sel, masing-masing haploid (n) dan tidak identik secara genetik, dengan induk maupun dengan sesamanya.
e. Tempat terjadinya		
1) Pada hewan	Di sel-sel tubuh (sel somatik)	Organ kelamin jantan (testis) dan organ kelamin betina (ovarium)
2) Pada tumbuhan	Jaringan meristem (ujung akar, ujung batang, dan kambium)	Organ reproduktif jantan (benang sari) dan organ betina (putik)
f. Peran		
1) Pada organisme uniseluler	Memperbanyak diri	Membentuk dan mengurangi jumlah kromosom sel kelamin
2) Pada organisme multiseluler	Memperbanyak sel, pertumbuhan, atau memperbaiki sel yang rusak	

Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 1, hlm. 250. (dengan pengembangan)

Nah, untuk mengetahui sejauh mana kalian menguasai materi tersebut, coba kerjakan *Diskusi* dan *Uji Kompetensi* berikut.

Diskusi

Pernahkah sel-sel pada bagian tubuh kalian rusak atau mengelupas? Dapatkah sel-sel tersebut diperbaiki? Peristiwa apakah yang berperan dalam memperbaiki sel yang rusak tersebut? Diskusikan bersama kelompok kalian.

Uji Kompetensi

1. Jelaskan mengapa pembelahan meiosis dikatakan sangat berpengaruh dalam pertumbuhan dan perkembangan organisme?
2. Apakah yang akan terjadi jika sel kelamin, baik jantan atau betina, tidak mengalami pembelahan meiosis?
3. Sebutkan subfase yang terjadi pada profase. Jelaskan pula ciri-ciri yang terjadi pada setiap subfase tersebut.
4. Apa yang dimaksud sinapsis?
5. Apakah perbedaan antara *sister chromatids* dan *non sister chromatids*?
6. Bagaimanakah perbedaan profase pada mitosis dan profase I pada meiosis?
7. Jelaskan tingkah laku pasangan kromatid pada fase metafase I.
8. Jelaskan perbedaan antara mitosis dan meiosis, ditinjau dari tujuan dan sifat sel anaknya.
9. Gambarkan dan jelaskan tahapan-tahapan yang dilalui pada pembelahan meiosis.
10. Jelaskan perbedaan antara anafase I pada meiosis I dengan anafase pada mitosis.

Kalian telah mempelajari pembelahan sel secara meiosis yang terjadi pada sel-sel reproduksi. Berdasarkan penjelasan di atas, kalian tahu bahwa pada hewan, sperma dan sel telur terbentuk dari pembelahan meiosis. Bukan hanya hewan saja, tetapi sel-sel reproduksi pada tumbuhan juga terbentuk dari pembelahan meiosis ini. Nah, setelah mempelajari uraian selanjutnya, kalian akan mengetahui proses-proses yang terjadi dalam pembentukan sel reproduksi pada hewan dan tumbuhan, yang disebut **gametogenesis**.

D. Gametogenesis dan Pewarisan Sifat

Sebelum menjadi individu baru, baik pada tumbuhan maupun hewan, tentunya diperlukan bahan baku atau cikal bakal pembentuk individu baru tersebut. Pada proses perkembangbiakan generatif (seksual) hewan maupun tumbuhan, bahan baku tersebut berupa sel kelamin yang disebut **gamet**. Gamet jantan dan betina diperlukan untuk membentuk zigot, embrio, kemudian individu baru. Nah, pada materi berikut ini akan dibahas tentang proses pembentukan gamet, baik jantan maupun betina yang disebut **gametogenesis** (*genesis* = pembentukan).

Gametogenesis melibatkan pembelahan meiosis dan terjadi pada organ reproduktif. Pada hewan dan manusia, gametogenesis terjadi pada testis dan ovarium, sedangkan pada tumbuhan terjadi pada putik dan benang sari. Hasil gametogenesis adalah sel-sel kelamin, yaitu gamet jantan (sperma) dan gamet betina (ovum atau sel telur). Sekarang, marilah kita mempelajari proses terjadinya gametogenesis pada hewan dan tumbuhan.

1. Gametogenesis pada Hewan

Gametogenesis memegang peranan yang sangat penting dalam perkembangbiakan hewan. Gametogenesis pada hewan yang akan kita pelajari dibagi menjadi dua, yaitu spermatogenesis dan oogenesis. **Sper-**

Galeri

Produksi Sperma Pria

Pada manusia, proses pembentukan sperma dari spermatosit primer hingga terbentuk sel sperma, memerlukan waktu sekitar 48 jam. Setiap pria dapat mengeluarkan sperma sekitar 3 ml. Dalam setiap mililiter mengandung 120 juta sperma. Ini berarti, setiap individu dapat mengeluarkan 360 juta sperma yang hidup dan bergerak aktif.

matogenesis merupakan proses pembentukan gamet jantan (sperma). Sementara **oogenesis** adalah proses pembentukan gamet betina (ovum atau sel telur).

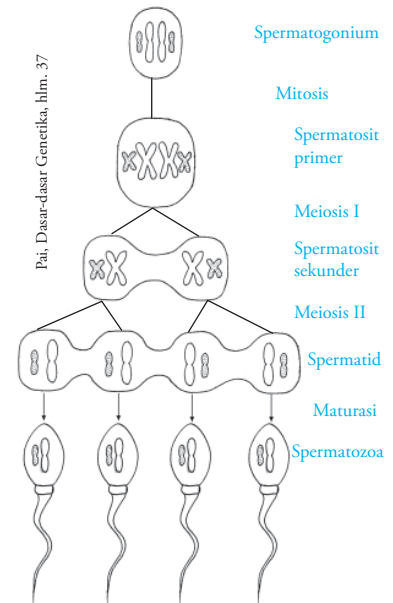
a. Spermatogenesis

Sperma berbentuk kecil, lonjong, berflagela, dan secara keseluruhan bentuknya menyerupai kecebong (berudu). Flagela pada sperma digunakan sebagai alat gerak di dalam medium cair. Sperma dihasilkan pada testis. Pada mamalia, testis terdapat pada hewan jantan sebagai buah pelir atau buah zakar. Buah pelir pada manusia berjumlah sepasang.

Di dalam testis terdapat saluran-saluran kecil yang disebut **tubulus seminiferus**. Pada dinding sebelah dalam saluran inilah, terjadi proses spermatogenesis. Di bagian tersebut terdapat sel-sel induk sperma yang bersifat diploid (2n) yang disebut **spermatogonium**.

Pembentukan sperma terjadi ketika spermatogonium mengalami pembelahan mitosis menjadi **spermatosit primer** (sel sperma primer). Selanjutnya, sel spermatosit primer mengalami meiosis I menjadi dua **spermatosit sekunder** yang sama besar dan bersifat haploid. Setiap sel spermatosit sekunder mengalami meiosis II, sehingga terbentuk 4 sel **spermatid** yang sama besar dan bersifat haploid.

Mula-mula, spermatid berbentuk bulat, lalu sitoplasmanya semakin banyak berkurang dan tumbuh menjadi sel spermatozoa yang berflagela dan dapat bergerak aktif. Berarti, satu spermatosit primer menghasilkan dua spermatosit sekunder dan akhirnya terbentuk 4 sel **spermatozoa** (jamak = **spermatozoon**) yang masing-masing bersifat haploid dan fungsional (dapat hidup).

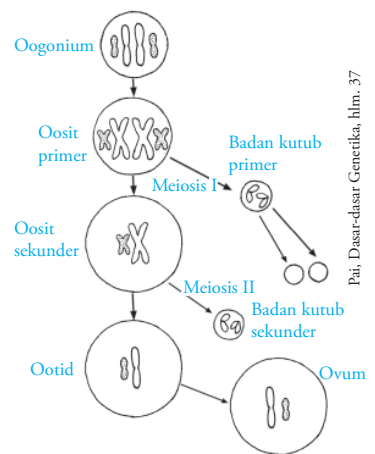


Gambar 4.20 Diagram pembentukan sperma (spermatogenesis) di dalam testis.

b. Oogenesis

Oogenesis merupakan proses pembentukan sel kelamin betina atau gamet betina yang disebut sel telur atau ovum. Oogenesis terjadi di dalam **ovarium**. Di dalam ovarium, sel induk telur yang disebut **oogonium** tumbuh besar sebagai oosit primer sebelum membelah secara meiosis. Berbeda dengan meiosis I pada spermatogenesis yang menghasilkan 2 spermatosit sekunder yang sama besar. Meiosis I pada **oosit primer** menghasilkan 2 sel dengan komponen sitoplasmik yang berbeda, yaitu 1 sel besar dan 1 sel kecil. Sel yang besar disebut **oosit sekunder**, sedangkan sel yang kecil disebut **badan kutub primer** (*polar body*).

Oosit sekunder dan badan kutub primer mengalami pembelahan meiosis tahap II. Oosit sekunder menghasilkan dua sel yang berbeda. Satu sel yang besar disebut **ootid** yang akan berkembang menjadi ovum. Sedangkan sel yang kecil disebut badan kutub. Sementara itu, badan kutub hasil meiosis I juga membelah menjadi dua badan kutub sekunder. Jadi, hasil akhir oogenesis adalah satu ovum (sel telur) yang fungsional dan tiga badan kutub yang mengalami degenerasi (mati).



Gambar 4.21 Diagram terbentuknya ovum atau sel telur di dalam ovarium.

Nah, dari uraian tentang spermatogenesis tersebut, lakukanlah rubrik *Diskusi* berikut ini.

Diskusi

Mengapa sel kelamin (gamet) pada manusia atau hewan bersifat haploid? Apa yang akan terjadi jika sel kelamin tersebut bersifat diploid? Hubungkanlah jawaban tersebut dengan proses fertilisasi. Diskusikanlah bersama kelompok kalian dan presentasikan hasilnya di depan kelas.

Selain pada hewan, gametogenesis juga terjadi pada tumbuhan. Berikut ini akan diuraikan tentang gametogenesis pada tumbuhan tingkat tinggi.

2. Gametogenesis pada Tumbuhan Tingkat Tinggi

Sebelum menjadi gamet, hasil akhir meiosis pada gametogenesis mengalami perkembangan terlebih dahulu melalui proses yang disebut **maturasi**. Berikut ini kalian akan membahas proses gametogenesis pada tumbuhan berbunga (*Angiospermae*) saja.

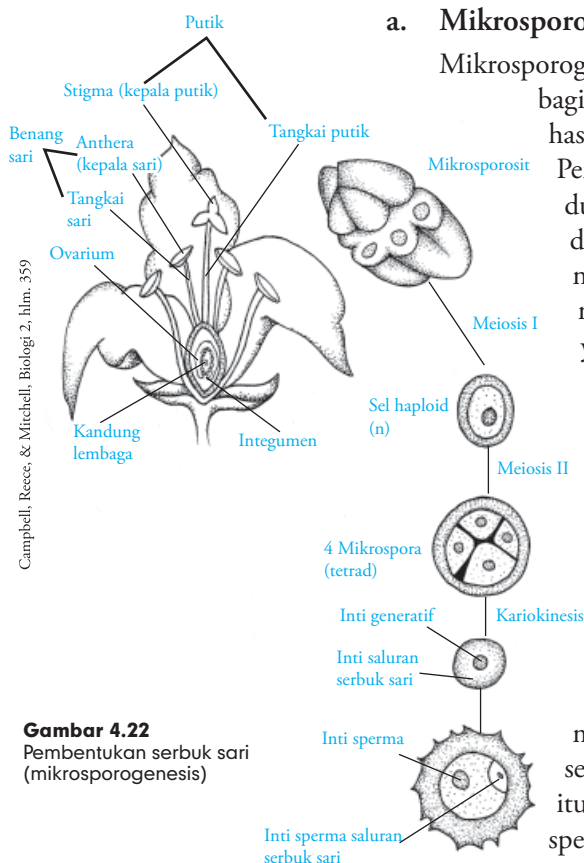
Pada tumbuhan berbunga, gametogenesis diperlukan dalam pembentukan gamet jantan dan pembentukan gamet betina. Pembentukan gamet jantan disebut **mikrosporogenesis**, sedangkan pembentukan gamet betina disebut **megasporogenesis**. Mari kita pelajari pengertian kedua macam gametogenesis tersebut.

a. Mikrosporogenesis

Mikrosporogenesis berlangsung di dalam benang sari, yaitu pada bagian kepala sari atau **anthera**. Kepala sari ini menghasilkan serbuk sari, yang mengandung sel sperma. Pembentukan sel sperma dimulai dari sebuah sel induk mikrospora diploid yang disebut **mikrosporosit** di dalam anthera. Mikrosporosit ini mengalami meiosis I menghasilkan sepasang sel haploid. Selanjutnya, sel ini mengalami meiosis II dan menghasilkan 4 **mikrospora** yang haploid. Keempat mikrospora ini berkelompok menjadi satu sehingga disebut sebagai **tetrad**.

Setiap mikrospora mengalami pembelahan mitosis. Pembelahan ini menghasilkan dua sel, yaitu sel generatif dan sel vegetatif. Sel vegetatif ini mempunyai ukuran yang lebih besar daripada sel generatif. Struktur bersel dua ini terbungkus dalam dinding sel yang tebal. Kedua sel dan dinding sel ini bersama-sama membentuk sebuah butiran serbuk sari yang belum dewasa.

Setelah terbentuk serbuk sari, inti generatif membelah secara mitosis tanpa disertai sitokinesis, sehingga terbentuklah dua inti sel sperma. Sementara itu, inti vegetatifnya tidak membelah. Pembentukan sel sperma ini dapat terjadi sebelum serbuk sari keluar dari



Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 2, hlm. 359

Gambar 4.22
Pembentukan serbuk sari (mikrosporogenesis)

anthera atau pada saat serbuk sari sampai di kepala putik (stigma). Pada saat inilah, tangkai serbuk sari mulai tumbuh. Pada umumnya, pembelahan mitosis sel generatif terjadi setelah buluh serbuk sari menembus stigma atau mencapai kantung embrio di dalam bakal biji (ovulum).

b. Megasporogenesis

Megasporogenesis merupakan proses pembentukan gamet betina (Gambar 4.24). Proses ini terjadi di dalam bagian betina bunga, yaitu bakal biji (ovulum) yang dibungkus oleh bakal buah (**ovarium**) pada pangkal putik. Di dalam bakal biji terdapat sporangium yang mengandung **megasporofit** yang bersifat diploid. Selanjutnya, megasporofit mengalami meiosis menghasilkan 4 megaspora haploid yang letaknya berderet. Tiga buah megaspora mengalami degenerasi dan mati, tinggal sebuah megaspora yang masih hidup.

Megaspora yang hidup ini mengalami pembelahan kromosom secara mitosis 3 kali berturut-turut, tanpa diikuti pembelahan sitoplasma. Hasilnya berupa sebuah sel besar yang disebut **kandung lembaga muda** yang mengandung delapan inti haploid. Kandung lembaga ini dikelilingi kulit (**integumen**). Di ujungnya terdapat sebuah lubang (**mikropil**) sebagai tempat masuknya saluran serbuk sari ke dalam kandung lembaga.

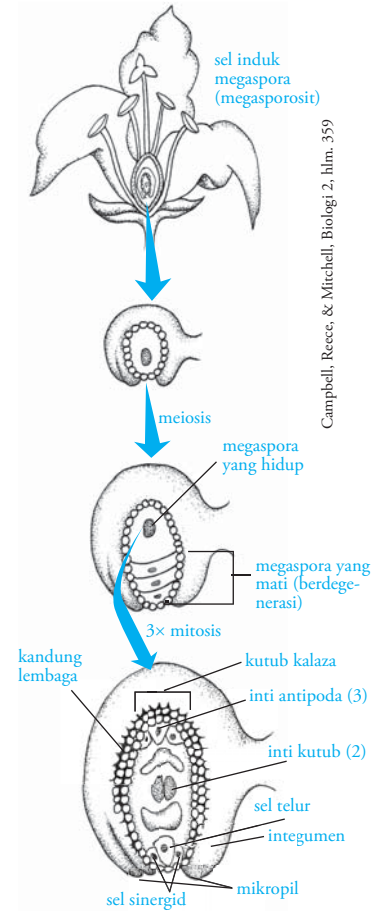
Selanjutnya, tiga dari delapan inti tadi menempatkan diri di dekat mikropil. Dua di antara tiga inti yang merupakan **sel sinergid** mengalami degenerasi. Sementara itu, inti yang ketiga berkembang menjadi **sel telur**. Tiga buah inti lainnya bergerak ke arah **kutub kalaza**, tetapi kemudian mengalami degenerasi pula. Ketiga inti ini dinamakan **inti antipoda**. Sisanya, dua inti yang disebut **inti kutub**, bersatu di tengah kandung lembaga dan terjadilah sebuah inti diploid (2n). Inti ini disebut **inti kandung lembaga sekunder**. Ini berarti kandung lembaga telah masak, yang disebut **megagametofit** dan siap untuk dibuahi.

3. Pewarisan Sifat dan Variasi Genetis

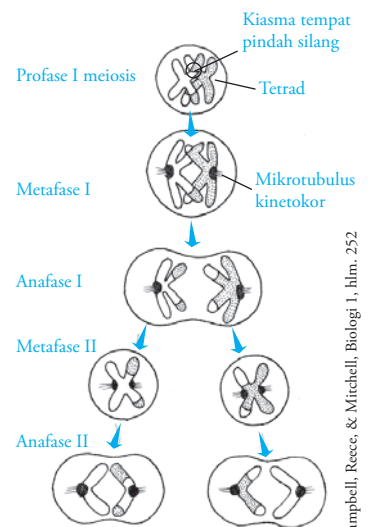
Secara garis besar, ada tiga mekanisme yang menyebabkan terjadinya variasi genetik pada suatu populasi. Ketiga mekanisme ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

a. Pindah silang

Telah dijelaskan di depan bahwa sel kelamin membelah secara meiosis. Pada profase I, kromosom homolog muncul pertama kali sebagai pasangan. Kromosom-kromosom homolog ini saling bersilangan pada **kiasmata**. Pada kiasmata inilah terjadi **pindah silang** (*crossing over*) materi genetik dari kromosom satu ke kromosom lainnya. Pindah silang ini terjadi ketika dua kromatid dari kromosom yang berbeda bertukar tempat. Kromatid yang sudah tidak identik lagi dengan kromatid saudaranya karena terjadi pindah silang disebut **dyad**. Terjadinya pindah silang ini dapat kalian lihat pada Gambar 4.24. Pada manusia, dua atau tiga kasus kejadian pindah silang dapat terjadi untuk setiap pasangan kromosom.



Gambar 4.23 Diagram terjadinya megasporofit



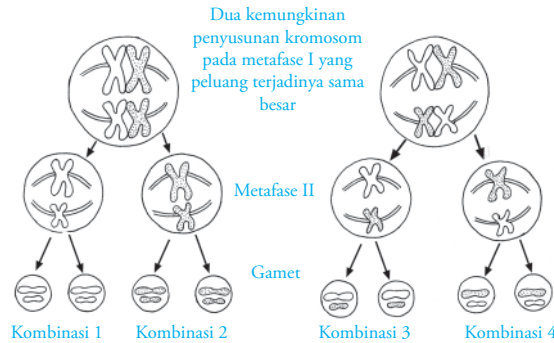
Gambar 4.24 Pindah silang menyebabkan terjadinya variasi genetik pada sel anak

Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 2, hlm. 359

Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 1, hlm. 252

b. Pemilahan kromosom secara bebas

Kalian telah mengetahui bahwa pembelahan sel selalu diikuti pembagian kromosom pada sel anakan yang dihasilkan. Begitu pula dengan pembelahan meiosis. Pada metafase I, pasangan kromosom homolog terletak pada bidang metafase. Orientasi pasangan homolog yang menghadap kutub-kutub sel bersifat acak. Setiap pasangan mempunyai dua kemungkinan dalam penyusunan ini. Kita ambil contoh organisme yang mempunyai empat kromosom diploid ($2n = 4$). Organisme ini mempunyai 2 kromosom dalam sel gametnya. Dua kromosom ini dapat menghasilkan empat kemungkinan sel anakan dengan kombinasi kromosom berbeda satu sama lain. Perhatikan Gambar 4.25.



Gambar 4.25 Dua kemungkinan penyusunan kromosom pada metafase I untuk sel dengan 4 buah kromosom diploid.

Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 1, hlm. 251

Bagaimanakah dengan manusia? Manusia mempunyai 46 kromosom diploid. Ini berarti pada sperma atau sel telur terdapat 23 kromosom haploid. Dari 23 kromosom ini mempunyai sekitar 8 juta kemungkinan penyusunan homolog pada metafase. Kandungan kromosom pada sel sperma atau sel telur ini akan diwariskan pada anak keturunannya. Jadi, setiap manusia sebenarnya merupakan 1 dari 8 juta kemungkinan pemilahan kromosom yang diwariskan oleh bapak atau ibu kandungnya.

c. Fertilisasi random

Di dalam sebuah keluarga, seorang anak mempunyai sifat yang berbeda dengan saudara-saudaranya. Seorang anak tidak ada yang memiliki sifat yang sama persis dengan ibu atau bapaknya. Akan tetapi, sifatnya kemungkinan besar merupakan perpaduan sifat kedua orang tuanya. Ini jelas sangat masuk akal, sebab seorang anak dihasilkan dari pembuahan 1 sel telur ibu oleh 1 sel sperma bapak. Sel telur yang dibuahi sperma akan menjadi zigot sebagai cikal bakal manusia. Jadi, genetik seorang anak sangat dipengaruhi kromosom yang terkandung dalam sel telur atau sperma tersebut. Kalian mengetahui bahwa setiap sel kelamin (sperma dan sel telur) yang menentukan kromosom anak merupakan 1 dari 8 juta kemungkinan. Hal ini berarti, seorang manusia merupakan salah satu dari 64 trilyun ($8 \text{ juta} \times 8 \text{ juta}$) kombinasi kromosom diploid. Dengan kata lain, kita telah memenangkan pertandingan melawan 64

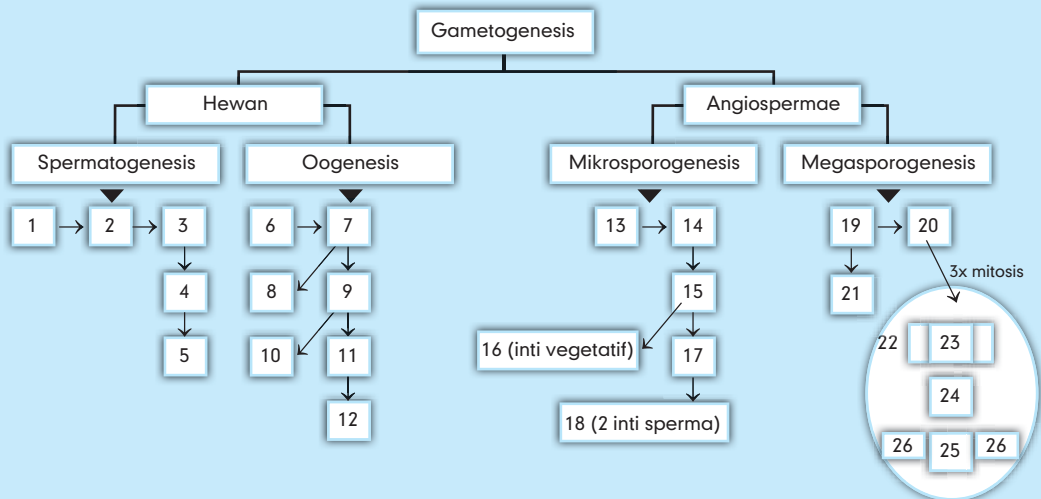
trilyun calon anak yang mungkin dilahirkan. Inilah tanda kebesaran Tuhan Yang Maha Esa.

Setelah kalian mempelajari peristiwa gametogenesis, cobalah kalian kerjakan *Telisik*.

Telisik

Bersama kelompok kalian, lakukanlah tahapan berikut ini:

1. Buatlah bagan tentang tahapan gametogenesis pada hewan dan Angiospermae. Buatlah diagram tersebut pada kertas berukuran A5 semenarik mungkin. Berikut ini contoh diagram alirnya:



2. Kumpulkanlah tugas kepada guru kalian serta jelaskan di depan guru kalian, maksud dari bagan yang kalian buat.

Dari rubrik *Telisik* yang telah kalian buat, tentunya kalian telah memahami tentang gametogenesis. Untuk lebih memperdalamnya lagi, kerjakanlah rubrik *Uji Kompetensi* berikut ini.

Uji Kompetensi

1. Jelaskan pengertian istilah-istilah berikut.
 - a. Gametogenesis
 - b. Spermatogenesis
 - c. Oogenesis
 - d. Mikrosporofit
 - e. Megasporofit
2. Apakah perubahan oosit I menjadi oosit II sama dengan perubahan spermatosit I menjadi spermatosit II? Berikan alasan jawabanmu.
3. Jelaskan proses pembentukan sperma dan sel telur (ovum) pada hewan. Lengkapi jawab-

annya dengan gambar.

4. Apakah tujuan spermatogenesis dan oogenesis bagi hewan?
5. Jelaskan bagaimanakah mekanisme terjadinya variasi genetik pada sel anakan hasil pembelahan meiosis.
6. Jelaskan pengertian maturasi.
7. Gambarkan diagram proses pembentukan serbuk sari pada tumbuhan berbunga.
8. Gambarkan diagram proses pembentukan gamet betina pada tumbuhan berbunga.
9. Kandung lembaga muda terdiri dari delapan inti. Inti apa sajakah itu?

I k h t i s a r

1. Berdasarkan proses yang terjadi, pembelahan sel dibedakan menjadi tiga macam, yaitu pembelahan amitosis (spontan), pembelahan mitosis, dan pembelahan meiosis.
2. Pembelahan amitosis (yang terjadi pada golongan bakteri) adalah pembelahan spontan dimana satu sel menghasilkan dua sel identik.
3. Pembelahan mitosis terjadi pada sel organisme eukariotik. Sel diploid yang mengalami mitosis membelah menjadi dua sel anakan yang juga diploid. Pembelahan mitosis terjadi secara bertahap yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase.
4. Pada pembelahan meiosis, satu sel diploid membelah menjadi empat sel anakan yang masing-masing bersifat haploid.
5. Pembelahan meiosis bertujuan menghasilkan sel gamet (sel kelamin). Pembelahan ini terjadi dua tahap, yaitu meiosis I dan meiosis II. Masing-masing tahap meiosis tersebut melalui tahap profase, metafase, anafase, dan telofase.
6. Gametogenesis adalah proses pembentukan gamet.
7. Gametogenesis pada hewan jantan disebut spermatogenesis. Spermatogenesis menghasilkan empat sperma yang haploid. Sementara gametogenesis pada hewan betina disebut oogenesis yang menghasilkan satu sel telur haploid.
8. Pembentukan gamet jantan pada tumbuhan berbunga disebut mikrosporogenesis. Mikrosporogenesis menghasilkan empat mikrospora yang haploid. Sementara pembentukan gamet betina pada tumbuhan disebut megasporogenesis. Megasporogenesis menghasilkan delapan megaspora yang haploid.

S e n a r a i k a t a

Aktin Mikrofilamen dalam sitoplasma, berupa benang halus tak berongga dan menyebabkan kontraksi otot (pada gelendong pembelahan)

Anthera Kepala sari, tempat terdapatnya serbuk sari

Badan golgi Organel pembentuk vesikula atau penssekresi zat yang lain

Dyad Kromatid yang sudah tidak identik lagi karena sudah mengalami pindah silang

Haploid Sifat kromosom yang tidak berpasangan (tunggal)

Diploid Keadaan sel yang kromosomnya berpasangan (2n)

Fertilisasi Peleburan antara sel gamet jantan dan sel gamet betina

Interkinesis Tahap (fase) singkat di antara dua pembelahan meiosis

Kinetokor Struktur di daerah sentromer kromatid sebagai perlekatan mikrotubulus, terdiri dari bagian spesifik DNA dan protein

Kromatin Struktur berupa benang-benang halus sebelum memadat dan memendek menjadi kromosom

Kromatid Salah satu bagian dari pasangan kromosom (kromosom anak)

Kromosom homolog Kromosom sepasang yang terdiri dari kromosom identik

Megaspora Sel gamet betina yang haploid pada tumbuhan

Meiosis Pembelahan sel yang menghasilkan sel anakan yang bersifat haploid

Mikrospora Sel gamet jantan yang haploid pada tumbuhan yang akan berkembang menjadi pollen (serbuk sari)

Miosin Mikrofilamen yang lebih besar dari aktin, juga berperan dalam kontraksi otot. Aktin dan miosin terletak berjajar

Oogenesis Proses pembentukan sel kelamin betina (ovum atau sel telur) pada hewan dan manusia

Ovarium Disebut juga bakal buah, terdapat di bagian pangkal putik sebagai tempat terbentuknya ovum

Pollen Butir-butir serbuk sari yang sudah masak

Spermatogenesis Proses pembentukan sel kelamin jantan (sperma) pada hewan dan manusia

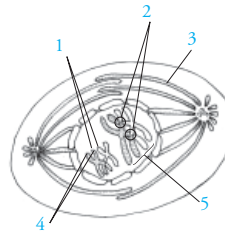
Vesikula Rongga di dalam sitoplasma sebagai penyimpan bahan organik

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

- Ciri fisiologis kehidupan yang bertujuan untuk melestarikan jenisnya ialah
 - nutrisi
 - respirasi
 - transportasi
 - reproduksi
 - sintesis
- Pada akhir pembelahan sel selalu diikuti pembagian sitoplasma. Peristiwa ini disebut
 - diakinesis
 - kariokinesis
 - sitokinesis
 - karioteka
 - reduksi
- Peristiwa replikasi DNA terjadi pada fase
 - G1 interfase
 - G2 interfase
 - G1 metafase
 - S interfase
 - G2 profase
- Pada pembelahan mitosis, pengemasan DNA dalam kromosom mulai terjadi pada fase awal dari
 - interfase
 - profase
 - metafase
 - telofase
 - anafase
- Pada pembelahan mitosis, kromosom tampak paling jelas pada fase
 - interfase
 - profase
 - metafase
 - anafase
 - telofase
- Organel yang berfungsi mengatur arah pembelahan sel adalah
 - mitokondria
 - sentriol
 - sentrosom
 - sentromer
 - gametogenesis
- Pembentukan alur pembelahan atau pelat sel terjadi pada tahap
 - awal profase
 - akhir metafase
 - akhir anafase
 - awal telofase
 - akhir telofase
- Jika satu sel diploid membelah tiga kali secara mitosis, maka jumlah sel anaknya adalah

- 3 sel haploid
- 3 sel diploid
- 6 sel haploid
- 6 sel diploid
- 8 sel diploid

9.



Dari gambar di samping, yang merupakan kromatid saudara dan tetrad ditunjukkan pada nomor

- 1 dan 2
 - 1 dan 3
 - 1 dan 5
 - 2 dan 4
 - 4 dan 5
- Jarak waktu yang singkat antara meiosis I dengan meiosis II disebut
 - profase
 - sitokinesis
 - diakinesis
 - interkinesis
 - interfase
 - Pembelahan sel pada meiosis I menghasilkan dua sel anakan yang
 - diploid, DNA dua salinan (2n)
 - diploid, DNA satu salinan
 - haploid DNA dua salinan
 - haploid DNA satu salinan
 - diploid tanpa salinan DNA
 - Pembelahan sel secara mitosis menghasilkan
 - 4 sel yang diploid
 - 4 sel yang haploid
 - 2 sel yang diploid
 - 2 sel yang haploid
 - 4 sel, 2 sel haploid dan 2 sel diploid
 - Di antara hal-hal berikut ini yang tidak terjadi pada tahap profase adalah
 - benang-benang kromatin memendek dan menebal
 - membran inti mulai menghilang
 - sentriol membelah menjadi dua
 - mulai tampak adanya mikrotubulus
 - kromosom mulai menghilang

14. Perhatikan ciri-ciri berikut.
 (1) terjadi sintesis RNA
 (2) terbentuk bahan-bahan pembelahan
 (3) waktu yang dipergunakan paling lama
 Ciri-ciri tersebut terjadi pada tahap
- interfase
 - profase
 - metafase
 - anafase
 - telofase
15. Struktur dalam sel yang memiliki kemampuan menyerap zat warna ialah
- endoplasma
 - sentriol
 - ribosom
 - kromosom
 - filamen
16. Pada tumbuhan berbunga, pembentukan sel-sel spermatozoid terjadi di dalam
- kepala putik
 - ovarium
 - putik
 - kelopak bunga
 - kotak sari
17. Sel yang mempunyai kromosom diploid adalah
- sel mikrospora
 - sel ovum
 - sel zigot
 - sel sperma
 - sel oosit sekunder
18. Sel yang merupakan hasil dari pembelahan mitosis adalah
- sel megaspora
 - sel ovum
 - inti vegetatif bulu serbuk sari
 - sel induk spora
 - sel mikrospora
19. Ciri anafase pada pembelahan mitosis adalah
- kromatid berkumpul di bidang pembelahan
 - kromatid memisah dan bergerak menuju kutub
 - kromatid telah sampai di kutub sel
 - terbentuk dinding inti dan nukleolus
 - terbentuk bidang pembelahan
20. Pernyataan berikut berhubungan dengan pembelahan sel.
- terjadi pada sel tubuh
 - sifat sel anak tidak sama dengan sel induk

- sifat sel anak sama dengan sel induk
 - terjadi pada sel kelamin
 - pembelahan berlangsung dua kali
- Ciri khas mitosis ditunjukkan pada nomor
- 1 dan 2
 - 1 dan 3
 - 2 dan 4
 - 2 dan 5
 - 3 dan 4

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

- Sebutkan perbedaan antara pembelahan mitosis dan pembelahan meiosis, ditinjau dari hasil akhir dan tempat terjadinya.
- Untuk pembelahan mitosis, bagaimanakah keadaan DNA dan kromosom pada fase interfase, profase, metafase, dan telofase?
- Jelaskan tujuan kromosom menempatkan diri pada bidang metafase.
- Mengapa sel telur (ovum) dan sel sperma memiliki n kromosom? Jelaskan proses pembentukannya melalui spermatogenesis dan oogenesis.
- Sel tubuh manusia mempunyai 46 kromosom. Berapa banyak kromosom manusia yang ditemukan di dalam:
 - spermatosit sekunder
 - spermatid
 - spermatozoa
 - spermatosit primer
- Diketahui sebuah sel induk mempunyai 6 buah kromosom dan tersusun diploid. Gambarlah proses dihasilkannya sel anakan, jika:
 - sel mengalami pembelahan mitosis
 - sel mengalami pembelahan meiosis
- Jelaskan pengertian *dyad*.
- Apakah perbedaan antara metafase I dengan telofase I pada meiosis I, ditinjau dari membran intinya?
- Jelaskan mekanisme terjadinya pindah silang pada meiosis.
- Jelaskan perbedaan spermatogenesis dan oogenesis, berdasarkan sel yang fungsional.

B a b V

Prinsip Hereditas



15,000 Educational Image



50,000 PhotoArt



dok.PIM



dok.PIM

Pernahkah kalian melihat kucing berbulu putih, coklat, atau bergaris-garis hitam? Kalian mungkin pernah pula mengunjungi pedagang tanaman hias (nursery) yang mengoleksi aneka ragam sifat tanaman (baik bentuk, warna, jumlah bunga, maupun ukuran tanamannya).

Ternyata, mereka dapat memperoleh koleksi binatang maupun tanaman dengan sifat sesuai yang mereka inginkan. Caranya dengan melakukan persilangan dua individu yang mempunyai sifat yang diharapkan. Apa yang menyebabkan hal ini dapat terjadi? Kalian akan mengetahuinya setelah mempelajari materi berikut. Simaklah bersama-sama.

Kata Kunci

- Hukum Mendel
- Tautan
- Pindah silang
- Sex linkage
- Determinasi seks
- Gen letal
- *Nondisjunction*
- Kromosom seks

Kilas

Pada bab pembelahan sel, dikenal pembelahan langsung (amitosis) dan tidak langsung (mitosis dan meiosis). Pembelahan meiosis terjadi pada proses gametogenesis yang menghasilkan bahan baku (gamet) untuk terjadinya fertilisasi sehingga membentuk individu baru.

Nah, pada bab ini, kalian akan mempelajari hukum-hukum pewarisan sifat Mendel, pola-pola hereditas, dan hereditas pada manusia.

Selanjutnya, kalian diharapkan dapat menerapkan Hukum Mendel dengan menentukan perbandingan fenotip dan genotip keturunan, menjelaskan macam-macam, penyebab terjadi, dan aplikasi dari penyimpangan-penyimpangan semu Hukum Mendel. Selain itu, kalian diharapkan dapat mengaplikasikan perhitungan perbandingan terjadinya pewarisan sifat pada manusia.

A. Hukum Pewarisan Sifat Mendel

Jika individu dengan sifat A melakukan perkawinan dengan individu lain dengan sifat B, sifat keturunannya dapat mengikuti salah satu induknya atau merupakan hasil kombinasi dari sifat kedua induknya. Penurunan atau pewarisan sifat dari induk atau tetua kepada generasi (keturunan) berikutnya disebut inheritansi (*inheritance*). Peristiwa pewarisan sifat tersebut mengikuti pola-pola tertentu yaitu pola-pola hereditas (Latin: *heres* atau ahli waris).

Hukum Mendel merupakan Hukum Hereditas yang menjelaskan prinsip-prinsip penurunan sifat pada organisme. Teori Mendel didukung beberapa biologiwan seperti De Vries (Belanda), Correns (Jerman), dan Tschermak (Austria).

Suatu hipotesis memprediksi bahwa dari generasi ke generasi, populasi dengan perkawinan bebas akan menghasilkan individu yang sama (seragam). Namun kenyataannya, dalam pengamatan setiap hari dan hasil percobaan pengembangbiakan hewan serta tumbuhan bertolak belakang dengan prediksi tersebut. Untuk mengembangkan teorinya, Mendel menggunakan objek kajian berupa tanaman kacang kapri atau ercis (Gambar 5.1).

Alasan dan keuntungan pemilihan kacang kapri untuk objek kajiannya antara lain: kapri memiliki pasangan-pasangan yang kontras, mudah disilangkan, mampu menghasilkan keturunan banyak dan cepat karena daur hidupnya yang pendek, serta dapat melakukan autogami atau penyerbukan sendiri karena mempunyai organ kelamin jantan (stamen atau benang sari) dan organ kelamin betina (putik atau pistillum) dalam tiap bunganya.

Mendel mengamati tujuh sifat kacang kapri (*Pisum sativum*) tersebut, antara lain: biji bulat dibandingkan dengan biji keriput; biji warna kuning dibandingkan dengan biji warna merah; buah warna hijau dibandingkan dengan buah warna kuning; buah mulus dibandingkan dengan buah berlekuk; bunga warna ungu dibandingkan dengan bunga warna putih; dan letak bunga aksial (ketiak) dibandingkan dengan bunga di terminal ujung; serta batang panjang dibandingkan dengan batang pendek.

Mendel memindahkan serbuk sari yang belum dewasa atau matang, dan menaburkan serbuk sari ke kepala putik pada bunga yang serbuk sarinya sudah dihilangkan. Selanjutnya, ia menyilangkan dua

Microsoft Encarta Premium 2006



Gambar 5.1 Tanaman ercis (*Pisum sativum*)

individu galur murni atau true breeding (yaitu tanaman yang apabila melakukan penyerbukan sendiri, senantiasa menghasilkan tunas yang sifatnya sama persis dengan sifat induknya) yang sama-sama memiliki pasangan sifat kontras, misalnya : kacang kapri berbunga merah galur murni dengan kacang kapri berbunga putih galur murni atau tanaman kacang kapri batang panjang dengan kacang kapri berbatang pendek.

Hasil penyilangan menunjukkan bahwa sifat dari dua induk tidak muncul sekaligus (hanya satu sifat). Kacang kapri berbunga merah yang disilangkan dengan kacang kapri berbunga putih menghasilkan kacang kapri berbunga merah. Berarti warna merah dominan terhadap warna putih, atau warna putih resesif terhadap warna merah. Alel dominan yaitu gen penentu sifat yang menutupi sifat pasangannya (alel resesif), dan ditulis dengan huruf besar (dalam contoh di atas, warna merah bersifat dominan dan ditulis sebagai M). Alel resesif yaitu alel penentu sifat yang ditutupi oleh sifat pasangannya (alel dominan), dan ditulis dengan huruf kecil (dalam contoh di atas, warna putih bersifat resesif dan ditulis sebagai m).

Selanjutnya, Mendel menyilangkan sesama F1 yang berbunga merah. Keturunan generasi kedua (F2)nya terdiri dari tanaman berbunga merah dan tanaman berbunga putih dengan rasio (perbandingan) 3 :

1. Berdasarkan penelitiannya, Mendel menyusun beberapa hipotesa sebagai berikut:

1. Sepasang gen dari induk jantan dan induk betina berperan dalam mengendalikan setiap sifat pada keturunannya.
2. Setiap alel (anggota dari sepasang gen) menunjukkan bentuk alternatif sesamanya. Misalnya warna merah dengan putih, atau biji bulat dengan biji keriput.
3. Pasangan alel berbeda yang terdapat bersama-sama dalam satu individu tanaman, terdiri dari alel yang merupakan faktor dominan dan faktor resesif. Faktor dominan akan menutupi faktor resesif.
4. Pada saat pembentukan gamet (meiosis), masing-masing alel memisah secara bebas. Selanjutnya, penggabungan gamet terjadi secara acak.
5. Individu murni mempunyai pasangan sifat (alel) yang sama yaitu dominan saja, atau resesif saja.

Setelah diuji berkali-kali ternyata hasil penelitian Mendel tetap, sehingga hipotesis Mendel ditetapkan sebagai Hukum Mendel yang pokok, yaitu Hukum Mendel I (Hukum Segregasi) dan Hukum Mendel II (Hukum Pengelompokan atau Penggabungan). Oleh karena itu, Mendel dikenal sebagai Bapak Genetika.

1. Hukum Mendel I (Hukum Segregasi)

Hukum Mendel I disebut juga hukum segregasi yang menyatakan bahwa pada waktu pembentukan gamet, terjadi pemisahan alel secara acak (*The Law of Segregation of Allelic Genes*).

Galeri



Gregor Johann Mendel lahir pada 22 Juli 1822 di Heinzendorf (dulu bagian dari Austria, sekarang masuk wilayah Ceko-Slowakia). Tahun 1840, ia belajar di Sekolah Menengah Troppau kemudian di Institut Filsafat Olmutz. Tahun 1843, ia melanjutkan studinya di Biara Augustinia di Altbun dan menjadi pendeta pada 1847. Tahun 1851-1853, Mendel belajar di Universitas Wina. Selanjutnya, tahun 1857-1865, ia menyilangkan *Pisum sativum* (ercis) dan mempublikasikan hasilnya. Tahun 1866, publikasinya sampai ke Eropa dan Amerika, hingga Mendel mendapat gelar sebagai Bapak Genetika.

Suryo, Genetika Manusia, hlm. 86

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, gen merupakan bagian dari DNA yang terdapat dalam kromosom. Pasangan kromosom homolog mengandung pasangan gen (terdiri dari 2 alel). Pada pembentukan gamet secara meiosis, pasangan-pasangan gen pada kromosom homolog saling berpisah (tahap Anafase). Pada akhir meiosis, setiap sel gamet yang dihasilkan hanya memiliki satu alel dari pasangan gen saja (pelajari kembali tentang gametogenesis). Proses pemisahan gen inilah yang disebut **segregasi gen**. Mengenai Hukum Mendel I ini dapat kalian kaji dari persilangan monohibrida (pembastaran dengan satu sifat beda).

Sebagai langkah awal kalian dalam mempelajari persilangan monohibrida, berikut ini akan dijelaskan tentang istilah-istilah yang sering digunakan dalam persilangan.

a. Genotip dan Fenotip

Di dalam suatu individu, terdapat 2 faktor penting yang saling terkait yaitu faktor genotip dan faktor fenotip. **Genotip** adalah susunan genetik dari suatu sifat atau karakter individu, biasanya diberi simbol dengan huruf dobel (misalnya TT, Tt dan tt). Genotip juga dikatakan sebagai faktor pembawaan. Genotip menunjukkan sifat dasar yang tidak tampak dan bersifat menurun atau diwariskan pada keturunannya. Sementara itu, **fenotip** adalah hasil ekspresi atau perpaduan dari genotip dengan lingkungannya, berupa sifat yang tampak dari luar sehingga dapat diamati. Sebagai contoh adalah bentuk (rambut, wajah, mata, tubuh, dan lain-lain) atau warna (pada rambut, kulit, iris atau selaput pelangi). Genotip yang sama dapat menghasilkan fenotip yang berbeda jika terdapat pada lingkungan berbeda.

Nah, setelah kalian mengetahui tentang genotip dan fenotip, simaklah materi tentang persilangan monohibrida berikut.

b. Persilangan Monohibrida

Pernahkah kalian mendengar istilah monohibrida? Persilangan monohibrida adalah perkawinan 2 individu dengan satu sifat beda yang menyolok. Persilangan monohibrida dapat terjadi pada tumbuhan, hewan maupun manusia.

1) Monohibrida pada Tumbuhan

Persilangan monohibrida pada tumbuhan dapat dilakukan misalnya pada buncis berbiji bulat dengan buncis berbiji keriput, buncis dengan biji warna kuning disilangkan dengan biji warna hijau, buncis berbunga merah dengan buncis berbunga putih, dan seterusnya. Agar mudah mempelajarinya, tiap-tiap persilangan diberi simbol (notasi). Pada saat menyilangkan, tanaman induk diberi simbol P (singkatan dari parental). Keturunan I (keturunan pertama) yang dihasilkan disebut fillial (keturunan) yang disingkat F1. Sementara itu, keturunan II sebagai F2. Cobalah kalian perhatikan Tabel 5.2.



Gambar 5.2 Salah satu contoh bentuk fenotip

Tabel 5.1. Hasil Persilangan dengan Satu Sifat Beda (Persilangan Monohibrida)

Sifat Beda Induk = Parental (P)	Sifat dan Banyak Individu yang Dihasilkan		Perbandingan Jumlah F2
	Keturunan I (F1)	Keturunan II (F2)	
Biji bulat X keriput	Semua bulat	5.474 bulat : 1.850 keriput	2,96:1
Biji kuning X hijau	Semua kuning	6.022 kuning : 2.001 hijau	3,01:1
Bunga merah X putih	Semua merah	705 merah : 224 putih	3,15:1
Polong gembung X kurus	Semua gembung	882 gembung : 299 kurus	2,95:1
Polong hijau X kurus	Semua hijau	428 hijau : 152 kuning	1,82:1
Bunga aksial X terminal	Semua aksial	651 aksial : 207 terminal	3,14:1
Batang panjang X pendek	Semua panjang	787 panjang : 177 pendek	2,84:1

Campbell, Reece, & Mitchell, Biologi 1, hlm 260 (dengan pengembangan)

Catatan:

Keturunan I (F1) dihasilkan dari persilangan 2 induk atau parental (P)

Keturunan II (F2) dihasilkan dari persilangan sesama F1 (sifat sama)

Pada persilangan monohibrida yang lain, Mendel melakukan eksperimen (percobaan) dengan menyilangkan tanaman kacang kapri berbunga kuning dan tanaman kacang kapri berbunga putih. Maka generasi keturunannya (F1) adalah 100% tanaman kacang kapri berbunga kuning. Namun, apabila tanaman kacang kapri berbunga kuning disilangkan sesamanya (persilangan *inbreeding*), keturunannya menunjukkan 75% tanaman berbunga kuning dan 25% berbunga putih. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada diagram persilangan monohibrida berikut.

Persilangan Monohibrida

Generasi 1

P1 : Fenotip : ♀ tanaman berbunga kuning X ♂ tanaman berbunga putih

Genotip : KK k

Gamet : K k

F1 : 100% tanaman anakan berbunga kuning (Kk)

Generasi 2

P2 : Fenotip : ♀ tanaman berbunga kuning X ♂ tanaman berbunga kuning

Genotip : Kk Kk

Gamet : K dan k K dan k



F2 : KK : kuning }
 Kk : kuning } 75%
 Kk : kuning }
 kk : putih → 25%

Perbandingan (rasio) fenotip : Kuning : putih
 75% : 25%

Peristiwa terbentuknya tanaman bunga kuning dari hasil persilangan menurut Mendel adalah sebagai berikut: pada waktu pembentukan gamet betina (ovum), alel-alel KK ini memisah menjadi K dan K, sehingga sel gamet pada tanaman berbunga kuning hanya mengandung satu macam alel yaitu alel K saja. Sebaliknya, tanaman jantan berbunga putih, bersifat **homozigot resesif** dan genotipnya kk. Alel ini memisah menjadi k dan k pada waktu pembentukan gamet jantan atau serbuk sari, sehingga gamet-gamet jantan tanaman putih hanya memiliki satu macam alel k. Dalam persilangan, terjadilah peleburan gamet jantan (k) dan gamet betina (K), membentuk individu bersifat **heterozigot**, dengan genotip Kk (fenotip kuning). Pada persilangan ke-2 (P2), yaitu persilangan bebas antara genotip Kk dengan Kk, juga dimulai dengan segregasi alel K dan k, baik pada individu jantan maupun betina. Segregasi Kk menghasilkan dua macam gamet, yaitu gamet yang mengandung alel K dan gamet yang mengandung alel k. Karena induk betina mempunyai 2 macam gamet (K dan k), maka terjadilah penyilangan antara keempat macam gamet di atas, yaitu K dengan K membentuk KK (fenotip kuning, homozigot dominan), K dengan k membentuk Kk (fenotip kuning, heterozigot), k dengan K membentuk Kk (fenotip kuning, heterozigot), dan k dengan k membentuk kk (fenotip putih, homozigot resesif).

2) Monohibrida pada Hewan

Persilangan monohibrida pada hewan dapat dipelajari pada persilangan antara marmot dengan rambut normal (hitam) dan marmot dengan rambut albino. Berikut ini adalah persilangan antara kedua marmot tersebut.

Persilangan Monohibrida

P : ♀ AA (hitam) X ♂ aa (albino)

Gamet : A a

F1 : Aa (hitam)

F2

Gamet	A	a
Gamet	AA (hitam)	Aa (hitam)
A	AA (hitam)	Aa (hitam)
a	Aa (hitam)	aa (albino)

Catatan: Alel A = menyebabkan terbentuknya melanin (pigmen pemberi warna)

Alel a = menghambat terbentuknya melanin

Dari hasil persilangan monohibrida sebelumnya, perbandingan fenotip antara marmot rambut hitam dengan albino adalah (1 AA: 2 Aa: 1 aa) atau 3 hitam : 1 albino.

3) Monohibrida pada Manusia

Hasil persilangan pada manusia dapat menghasilkan sifat-sifat berupa jenis kelamin dan adanya kelainan atau cacat menurun (akan kalian pelajari pada sub bab berikutnya). Kelainan albino dapat juga dialami oleh manusia. Seperti halnya pada marmot, persilangan antara manusia berambut hitam dengan manusia berambut albino juga menghasilkan perbandingan keturunan 3 (hitam) : 1 (albino).

Setelah kalian mempelajari tentang persilangan monohibrida, ikutilah rubrik *Percobaan* berikut agar kalian mengerti lebih baik.

Percobaan

Mempelajari Persilangan Monohibrida

A. Dasar Teori

Persilangan monohibrida merupakan persilangan dengan menggunakan satu sifat beda, misalnya warna saja, rasa, atau bentuk dari suatu sifat yang dimiliki oleh individu (manusia, hewan atau tumbuh-tumbuhan). Persilangan monohibrida mempunyai rasio fenotip 3 : 1 yaitu, 3 sifat dominan dan 1 sifat resesif.

B. Tujuan percobaan

Mempelajari persilangan melalui suatu model tiruan (simulasi)

C. Alat dan bahan

1. Kotak genetica (dapat menggunakan cawan plastik) 2 buah
2. Manik-manik warna kuning 100 buah dan warna putih 100 buah

D. Cara Kerja

1. Siapkan 100 buah manik-manik berwarna kuning (KK), dan 100 buah manik berwarna putih (kk). Masukkan pada kedua wadah yang berbeda. Kedua wadah tersebut mewakili dua individu pada generasi F1 suatu percobaan. Manik kuning mewakili gen dominan untuk kacang kapri yang bunganya berwarna kuning (K) dan manik putih mewakili gen resesif untuk kacang kapri berbunga putih (k).
2. Kocok kedua wadah tersebut agar manik-manik tercampur.
3. Ambil masing-masing satu manik dari setiap wadah (dengan acak dan secara bersamaan). Kemudian letakkan manik-manik di atas meja (pasangan manik dari kedua wadah tersebut mewakili zigot). Manik-manik diambil sampai habis, selanjutnya catat hasil kombinasinya, apakah kuning-kuning, kuning putih atau putih putih.
4. Lakukan percobaan tersebut sebanyak 50x sehingga diperoleh 50 zigot.
5. Masukkan hasilnya dalam tabel pengamatan yang kalian buat.

E. Pembahasan

Dari hasil pengamatan, akan diperoleh data-data tentang kombinasi dari persilangan bunga kacang kapri kuning dan putih. Selanjutnya diskusikanlah hal-hal berikut.

1. Bagaimana sajakah genotip dan fenotip bunga kacang kapri yang dihasilkan?
2. Bagaimana rasio fenotip dan rasio genotip dari persilangan kapri berbunga kuning dan putih tersebut?
3. Apakah yang dimaksud dengan sifat dominan dan sifat resesif pada bunga kacang kapri?

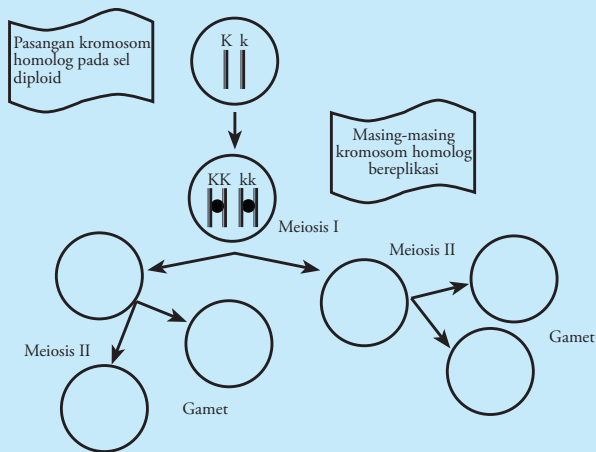
Sebelum kalian melanjutkan materi tentang Hukum Mendel berikutnya, (Hukum Mendel II), ikuti rubrik *Telisisik* berikut ini.

Telisisik

Membuat Skema Segregasi Gen

Pada Hukum Mendel I telah kalian pelajari bahwa pada pembentukan gamet, terjadi pemisahan alel-alel dari pasangan gen secara bebas. Untuk menggambarkan peristiwa tersebut, kerjakan langkah-langkah berikut ini:

1. Siapkan bahan berupa kertas karton, kertas manila, gunting, dan penggaris.
2. Gunakan kertas karton sebagai alas atau tempat menempelkan kertas manila (sebagai kromosom). Potonglah kertas manila dengan bentuk lingkaran dan buatlah bagan seperti terlihat di bawah ini.



3. Lanjutkan bagan tersebut dengan mengisikan bagian yang kosong, sehingga terbentuk 4 sel gamet yang haploid (terdiri dari satu alel dari pasangan gen kromosom).
4. Jika alel K menunjukkan fenotip warna bunga kuning dan alel k menunjukkan warna bunga putih, jelaskan maksud bagan tersebut di depan guru atau kelompok yang lain. Kemudian kumpulkan tugas kepada guru.

Setelah kalian mempelajari Hukum Mendel I, berikut akan kalian pelajari tentang Hukum Mendel yang lain yaitu Hukum Mendel II.

2. Hukum Mendel II (Hukum Asortasi)

Selain hanya mempunyai satu sifat beda, individu dapat mempunyai sifat beda lebih dari satu. Persilangan 2 individu yang mempunyai 2 sifat beda (dengan dua alel yang berbeda) disebut dengan **persilangan dihibrida**. Misalnya: bentuk biji kacang kapri (bulat dan keriput), warna (kuning dan hijau), atau ukuran batang (tinggi dan pendek).

Hukum Mendel II dikenal sebagai **Hukum Asortasi**, hukum berpasangan atau penggabungan secara bebas (*The Law of Independent As-*

sortment of Genes). Hukum ini menyatakan bahwa setiap gen atau sifat berpasangan secara bebas dengan gen atau sifat lain.

Pada persilangan antara tanaman kapri berbiji bulat warna kuning homozigot (BBKK) dengan kapri berbiji keriput warna hijau (bbkk), akan menghasilkan 16 kombinasi genotip keturunan sebanyak 100% tanaman berbiji bulat dan berwarna kuning. Selanjutnya, apabila tanaman F1 tersebut disilangkan sesamanya (sama-sama F1), ternyata pada keturunan kedua (F2), hasilnya : 9/16 bulat kuning, 3/16 bulat keriput, 3/16 keriput kuning, dan 1/16 keriput hijau atau rasio F2 = 9 : 3 : 3 : 1.

Agar lebih mengerti, cermatilah contoh persilangan dihibrida berikut.

Persilangan Dihibrida

Generasi 1

P1 Fenotip : betina (♀) jantan (♂)
 tanaman berbiji bulat X tanaman berbiji keriput
 berwarna kuning berwarna hijau
 Genotip : BBKK bbkk
 Gamet : BK bk

F1 100% BbKk
 Tanaman berbiji bulat, berwarna kuning

Generasi 2

P2 Fenotip : tanaman berbiji bulat, X tanaman berbiji bulat,
 berwarna kuning berwarna kuning
 Genotip : BbKk BbKk
 Gamet : $\frac{1}{4}$ BK (bulat, kuning) $\frac{1}{4}$ BK
 $\frac{1}{4}$ Bk (bulat, hijau) $\frac{1}{4}$ Bk
 $\frac{1}{4}$ bK (keriput, kuning) $\frac{1}{4}$ bK
 $\frac{1}{4}$ bk (keriput, hijau) $\frac{1}{4}$ bk

Catatan: pada pembentukan gamet tersebut, terjadi 4 macam pengelompokan gen. Gen B mengelompok dengan gen K membentuk gamet BK; gen B mengelompok dengan gen k membentuk gamet Bk; gen b mengelompok dengan gen K membentuk gamet bK; dan gen b mengelompok dengan gen k membentuk gamet bk.

F2

Gamet Gamet	$\frac{1}{4}$ BK	$\frac{1}{4}$ Bk	$\frac{1}{4}$ bK	$\frac{1}{4}$ bk
$\frac{1}{4}$ BK	1/16 BBKK bulat kuning	1/16 BBKk bulat kuning	1/16 BbKK bulat kuning	1/16 BbKk bulat kuning
$\frac{1}{4}$ Bk	1/16 BBKk bulat kuning	1/16 BBkk bulat hijau	1/16 BbKk bulat kuning	1/16 Bbkk bulat hijau

$\frac{1}{4}$ bK	1/16 BbKK bulat kuning	1/16 BbKk bulat kuning	1/16 bbKK keriput kuning	1/16 bbKk keriput kuning
$\frac{1}{4}$ bk	1/16 BbKk bulat kuning	1/16 Bbkk bulat hijau	1/16 bbKk keriput kuning	1/16 bbkk keriput hijau

Suryo, Genetika Manusia, hlm. 29 (dengan pengembangan)

Rasio fenotip (F2)

bulat kuning : bulat hijau : keriput kuning : keriput hijau
 $\frac{9}{16}$: $\frac{3}{16}$: $\frac{3}{16}$: $\frac{1}{16}$
 Atau 9 : 3 : 3 : 1

a. Macam Gamet dan Macam Fenotip dari Persilangan

Di dalam contoh persilangan monohibrida, dapat diketahui bahwa gamet yang terbentuk pada F1 ada dua macam dan fenotip yang terbentuk pada F2 ada dua macam. Sementara pada perbandingan dihibrida, dapat diketahui bahwa gamet yang terbentuk pada F1 ada empat macam dan fenotip yang terbentuk juga empat macam, dengan perbandingan 9 : 3 : 3 : 1. Untuk persilangan trihibrida, tetrahibrida dan seterusnya, dapat ditentukan dengan metode segitiga pascal, seperti pada tabel berikut.

Tabel 5.2. Hubungan Jumlah Sifat Beda dengan Banyaknya Macam Gamet pada F1 dan Perbandingan Fenotip pada F2

Jumlah sifat beda	Kemungkinan macam Fenotip	Macam gamet	Perbandingan Fenotip pada F2
1	1 1	2	3 : 1
2	1 2 1	4	9 : 3 : 3 : 1
3	1 3 3 1	8	27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1
4	1 4 6 4 1	16	81 : 27 : 27 : 27 : 27 : 9 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 3 : 1
5	1 5 10 10 5 1	32	243, dan seterusnya
n	dan seterusnya	2n	3n dan seterusnya

Suryo, Genetika Manusia, hlm. 31 (dengan pengembangan)

b. Persilangan Resiprok

Sebagaimana telah kalian ketahui, dalam persilangan tumbuhan diperlukan gamet jantan (serbuk sari) dan gamet betina (putik). Dalam persilangan antara ercis berbuah hijau dengan ercis

berbuah kuning misalnya, serbuk sari diambil dari ercis berbuah hijau kemudian diserbukkan pada putik tanaman ercis berbuah kuning. Semua keturunan F1nya berbuah hijau. Keturunan F2nya menghasilkan ercis berbuah hijau dan kuning dengan perbandingan 3:1. Demikian halnya jika serbuk sari diambil dari tanaman ercis berbuah kuning dan diserbukkan pada putik ercis berbuah hijau, hasil yang diperoleh baik pada F1 maupun F2nya tetap sama. Persilangan yang merupakan kebalikan dari persilangan sebelumnya inilah yang disebut **persilangan resiprok**. Oleh karena itu, baik tanaman yang berfungsi sebagai gamet jantan maupun sebagai gamet betina, mempunyai kesempatan yang sama di dalam pewarisan sifat. Berarti, Hukum Mendel I dan II tidak dipengaruhi oleh asal dari gamet jantan maupun betinanya.

Untuk lebih jelas dalam memahami persilangan resiprok, dapat dilihat pada contoh persilangan berikut.

P ♀ HH (buah hijau) X ♂ hh (buah kuning)			Persilangan resiproknya		
Gamet	H	h	P ♂ HH (buah hijau) X ♀ hh (buah kuning)	H	h
F1	Hh (buah hijau)		F1 ♀	Hh (buah hijau)	
Gamet F1 ♀	H	h	Gamet F1 H ♂	H	h
F2	HH (buah hijau)	Hh (buah hijau)	F2	HH (buah hijau)	Hh (buah hijau)
	Hh (buah hijau)	hh (buah kuning)		Hh (buah hijau)	hh (buah kuning)

Dari hasil tersebut, jelaslah bahwa persilangan resiprok menghasilkan keturunan yang sama.

c. Back Cross (Persilangan Balik) dan Test Cross (Uji Silang)

Berikutnya akan kalian pelajari perbedaan antara *back cross* dan *test cross*. Nah, sebelumnya kalian cermati dulu contoh berikut.

Persilangan *Back Cross*

P1 Fenotip : ♂ bunga di ketiak batang X ♀ bunga di ujung batang

Genotip: KK k

Gamet : K k

F1 Kk (100% bunga di ketiak batang)

Back cross

P2 Fenotip : ♀ bunga di ketiak batang X ♂ bunga di ketiak batang
(homozigot dominan)

Genotip: Kk KK

Gamet : K, k K

F2 KK (bunga letak di ketiak batang) } hasil *back cross* 100%
Kk (bunga letak di ketiak batang) } bunga di ketiak batang

Dengan demikian, dapat kita ketahui bahwa **back cross** merupakan persilangan antara keturunan F1 yang heterozigot dengan induknya (baik jantan atau betina) yang homozigot dominan. Pada contoh di atas, diketahui bahwa dua individu yang mempunyai genotip yang berbeda dapat mempunyai fenotip yang sama.

Kemudian, bagaimana dengan test cross, simaklah uraian berikut.

Test cross adalah persilangan antara hibrid (individu F1) dengan salah satu induk homozigot resesif. Individu F1 tidak atau belum diketahui genotipnya. Oleh karena itu, uji silang ini bertujuan untuk menguji ketidakh murnian individu dengan mengetahui perbandingan fenotip keturunannya. Dengan demikian, dapat diketahui individu yang diuji adalah heterozigot atau homozigot (galur murni).

Nah, selanjutnya perhatikanlah contoh *test cross* pada monohibrida di bawah ini.

1) : Marmot hitam disilangkan dengan induknya yang homozigot resesif (bb), menghasilkan keturunan 50% marmot hitam dan 50% albino.

P1	:	jantan (___)	><	betina bb
Fenotip	:	Bulat		keriput
Gamet	:	.....		b, b
F1		Bb : 50% biji bulat		
		bb : 50% biji keriput		

Berarti individu tersebut bersifat heterozigot (Bb).

2) : Marmot hitam disilangkan dengan induk resesif albino. Keturunannya ternyata 100% bulat.

P1	:	jantan (___)	><	betina bb
Fenotip	:	Bulat		keriput
Gamet	:	B		b, b
F1		Bb : 100% biji bulat		

Berarti, individu tersebut bersifat homozigot dominan (BB)

d. Sifat Intermedier

Seperti yang telah kalian ketahui sebelumnya bahwa persilangan satu sifat beda (misalnya, buah bulat dengan buah keriput) menghasilkan fenotip individu anaknya seperti sifat induknya (bulat atau keriput saja). Dengan kata lain, tidak dihasilkan individu dengan fenotip di luar fenotip induknya (tidak dihasilkan fenotip buah kotak ataupun lonjong). Lain halnya pada tanaman bunga pukul empat (lihat Gambar 5.3), pada persilangan antara tanaman bunga pukul empat (*Mirabilis jalapa*) berwarna merah dengan bunga berwarna putih, dihasilkan individu keturunan dengan bunga berwarna merah jambu. Warna merah jambu merupakan warna antara merah dan putih yang disebabkan oleh ekspresi dari alel penentu warna merah dengan ekspresi dari alel warna putih. Oleh karena itu, kedua alel penentu sifat beda tersebut dikatakan mempunyai kekuatan yang sama dalam



Gambar 5.3 Bunga pukul empat (*Mirabilis jalapa*)

memengaruhi munculnya sifat. Sifat antara yang diturunkan dari sifat induk pertama dengan sifat induk ke-2 inilah yang disebut sebagai sifat intermedier.

3. Penyimpangan Semu Hukum Mendel

Sebagaimana yang telah kalian pelajari bahwa persilangan monohibrida menghasilkan perbandingan individu keturunan 3 : 1 atau 1 : 2 : 1, dan persilangan dihibrida menghasilkan individu keturunan 9 : 3 : 3 : 1. Dalam prakteknya, hasil persilangan Mendel dapat menghasilkan perbandingan individu yang tidak tepat (coba kalian lihat kembali Tabel 5.1). Pada persilangan dihibrida, dapat dihasilkan perbandingan yang merupakan variasi dari perbandingan 9 : 3 : 3 : 1 yaitu 12 : 3 : 1; 9 ; 7 atau 15 : 1. Meskipun demikian, perbandingan tersebut tetap mengikuti aturan Hukum Mendel. Oleh karena itu, hasil perbandingan tersebut dikatakan sebagai **penyimpangan semu Hukum Mendel**.

Penyimpangan tersebut terjadi karena adanya beberapa gen yang saling memengaruhi dalam menghasilkan fenotip. Meskipun demikian, perbandingan fenotip tersebut masih mengikuti prinsip-prinsip Hukum Mendel. Penyimpangan semu Hukum Mendel tersebut meliputi interaksi gen, kriptomeri, polimeri, epistasis-hipostasis, gen-gen komplementer, gen dominan rangkap dan gen penghambat.

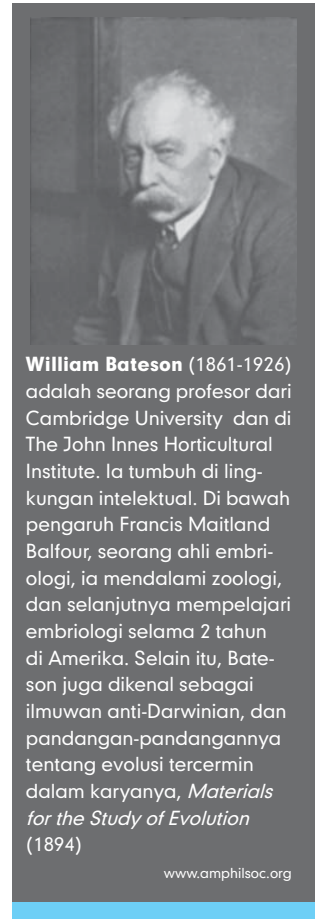
a. Interaksi gen (Interaksi beberapa pasangan gen)

Penelitian tentang adanya interaksi gen ini ditemukan oleh **William Bateson** (1861-1926) dan **R.C. Punnett**. Pada interaksi gen ini, suatu sifat tidak ditentukan oleh satu gen tunggal pada autosom tetapi alel-alel dari gen yang berbeda dapat berinteraksi atau saling memengaruhi dalam memunculkan sifat fenotip. Misalnya, pada ayam dijumpai empat macam bentuk pial (jengger), antara lain: jengger berbentuk ercis atau biji (*pea*) dengan genotip rrP-; jengger dengan belah atau tunggal (*single*) dengan genotip rpp, jengger berbentuk mawar atau gerigi (*rose*) dengan genotip Rpp, dan jengger berbentuk sumpel (*walnut*), dengan genotip R-P-. Perhatikan Gambar 5.4.

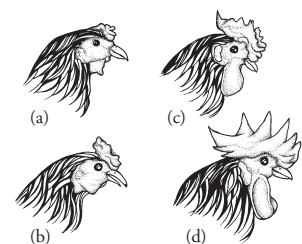
Pada persilangan ayam berpial *rose* (mawar) dengan ayam berpial *pea* (biji), semua keturunan F1nya berpial *walnut* (sumpel). Agar lebih memahaminya, perhatikanlah diagram persilangan berikut.

P1	:	♂ RRpp	X	♀ rrPP
		(<i>rose</i>)		(<i>pea</i>)
Gamet	:	R, p		r, P
F1	:			RrPp (<i>walnut</i>)
P2	:	♂ RrPp	X	♀ RrPp
		(<i>walnut</i>)		(<i>walnut</i>)
Gamet	:	RP, Rp, rP, rp		RP, Rp, rP, rp

Galeri



Microsoft Encarta Premium 2006



Gambar 5.4 Empat macam pial ayam yang berbeda (a) Walnut (b) Pea, (c) Rose, dan (d) Single

F2 :

♀ \ ♂	RP	Rp	rP	rp
RP	RRPP <i>walnut</i>	RRPp <i>walnut</i>	RrPP <i>walnut</i>	RrPp <i>walnut</i>
Rp	RRPp <i>walnut</i>	RRpp <i>rose</i>	RrPp <i>walnut</i>	RRpp <i>rose</i>
rP	RrPP <i>walnut</i>	RrPp <i>walnut</i>	rrPP <i>pea</i>	rrPp <i>pea</i>
rp	RrPp <i>walnut</i>	Rrpp <i>rose</i>	rrPp <i>pea</i>	rrpp <i>single</i>

Dari persilangan ayam berpial *rose* dan *pea*, dihasilkan fenotip baru yaitu *walnut* atau sumpel. Apa yang menyebabkan terbentuknya pial *walnut*? Pial walnut muncul karena interaksi 2 pasang alel (gen) yang dominan. Sementara itu, persilangan antara sesama ayam berpial walnut dihasilkan 4 macam pial yaitu *walnut*, *rose*, *pea*, dan 1 pial yang baru yaitu *single* dengan perbandingan 9 : 3 : 3 : 1. Pial tunggal terjadi karena adanya 2 pasang alel (gen) yang resesif.

b. Kriptomeri

Kriptos (Yunani) berarti tersembunyi, sehingga **kriptomeri** dikatakan sebagai gen dominan yang seolah-olah tersembunyi jika berdiri sendiri dan akan tampak pengaruhnya apabila bersama-sama dengan gen dominan yang lainnya. Peristiwa kriptomeri ini pertama kali ditemukan oleh **Correns** (Tahun 1912) setelah menyilangkan bunga *Linaria maroccana* berwarna merah (Aabb), dengan bunga *Linaria maroccana* berwarna putih (aaBB). Keturunan F1nya adalah bunga berwarna ungu (AaBb) yang berbeda dengan warna dari bunga kedua induknya (yaitu merah dan putih). Rasio fenotip F2nya adalah 9 ungu: 3 merah: 4 putih.

Lantas dari manakah warna ungu tersebut timbul? Dari hasil penelitian plasma sel, ternyata warna merah disebabkan oleh adanya pigmen antosianin dalam lingkungan asam. Dalam lingkungan basa, pigmen ini akan memberikan warna ungu. Jika di dalam plasma tidak terdapat pigmen antosianin, baik di dalam lingkungan asam atau basa, maka akan terbentuk warna putih. Faktor A, apabila mengandung pigmen antosianin dalam plasma sel dan faktor a jika tidak ada antosianin dalam plasma sel. Faktor B, apabila kondisi basa dan b dalam kondisi asam. Sifat A dominan terhadap a dan sifat B dominan terhadap sifat b. Oleh karena itu, tanaman yang berbunga merah disimbolkan dengan Aabb atau AAbb, sedangkan tanaman yang berbunga putih disimbolkan dengan aaBB atau aabb.



Gambar 5.5 *Linaria maroccana*

Microsoft Encarta Premium 2006

Dari penjelasan di atas, dapat dikatakan bahwa bunga merah memiliki antosianin di mana dalam lingkungan plasma sel bersifat asam. Sedangkan bunga putih tidak memiliki antosianin di mana lingkungan plasma sel bersifat basa. Apabila kedua tanaman tersebut saling disilangkan, dapat dilihat pada diagram berikut.

P1 : ♂ AAbb X ♀ aaBB
 (merah) (putih)
 Gamet : A,b a,B
 F1 : AaBb (Warna ungu)
 P2 : ♂ AaBb X ♀ AaBb
 (ungu) (ungu)
 Gamet : AB, Ab, aB, ab AB, Ab, aB, ab
 F2 :

♀ \ ♂	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB ungu 1	AABb ungu 2	AaBB ungu 3	AaBb ungu 4
Ab	AABb ungu 5	AAbb merah 6	AaBb ungu 7	Aabb merah 8
aB	AaBB ungu 9	AaBb ungu 10	aaBB putih 11	aaBb putih 12
ab	AaBb ungu 13	Aabb merah 14	aaBb putih 15	aabb Putih 16

c. Polimeri

Pada uraian sebelumnya telah dijelaskan tentang kriptomeri. Selanjutnya, kalian akan mempelajari tentang polimeri. Apakah perbedaan antara keduanya? Untuk dapat menjawabnya, simaklah uraian berikut.

Polimeri atau karakter kuantitatif adalah persilangan heterozigot dengan banyak sifat beda yang berdiri sendiri, tetapi memengaruhi bagian yang sama dari suatu organisme. Peristiwa polimeri ditemukan oleh **Lars Frederik Nelson** dan **Ehle**, setelah melakukan percobaan dengan menyilangkan gandum berbiji merah dengan gandum berbiji putih. Persilangan itu menghasilkan keturunan heterozigot berwarna merah muda bila dibandingkan dengan induknya yang homozigot (merah). Oleh karena itu, biji merah bersifat dominan tidak sempurna terhadap warna putih. Setelah generasi F1 disilangkan sesama, pada generasi F2 diperoleh perbandingan fenotip 3 merah : 1 putih.

Supaya kalian lebih memahami, perhatikan contoh berikut.

Gandum berbiji merah : M1M1M2M2

Gandum berbiji putih : m1m1m2m2

P1 : ♂ M₁M₁M₂M₂ (merah) X ♀ m₁m₁m₂m₂ (putih)
 Gamet : M₁M₂ m₁m₂
 F1 : M₁m₁M₂m₂ = merah
 P2 : ♂ M₁m₁M₂m₂ (merah) X ♀ M₁m₁M₂m₂ (merah)
 Gamet : M₁M₂, M₁m₂, m₁M₂, m₁m₂ M₁M₂, M₁m₂, m₁M₂, m₁m₂

Generasi F2 :

♀ \ ♂	M ₁ M ₂	M ₁ m ₂	m ₁ M ₂	m ₁ m ₂
M ₁ M ₂	M ₁ M ₁ M ₂ M ₂ Merah tua	M ₁ M ₁ M ₂ m ₂ Merah sedang	M ₁ m ₁ M ₂ M ₂ Merah sedang	M ₁ m ₁ M ₂ m ₂ Merah muda
M ₁ m ₂	M ₁ M ₁ M ₂ m ₂ Merah sedang	M ₁ M ₁ m ₂ m ₂ Merah muda	M ₁ m ₁ M ₂ m ₂ Merah muda	M ₁ m ₁ m ₂ m ₂ Merah muda sekali
m ₁ M ₂	M ₁ m ₁ M ₂ M ₂ Merah sedang	M ₁ m ₁ M ₂ m ₂ Merah muda	m ₁ m ₁ M ₂ M ₂ merah muda	m ₁ m ₁ M ₂ m ₂ merah muda sekali
m ₁ m ₂	M ₁ m ₁ M ₂ m ₂ Merah muda	M ₁ m ₁ m ₂ m ₂ Merah muda sekali	m ₁ m ₁ M ₂ m ₂ merah muda sekali	m ₁ m ₁ m ₂ m ₂ putih

Rasio fenotip F2 adalah 15 merah : 1 putih

Dari hasil keturunan pada diagram di atas, banyaknya jumlah faktor M memengaruhi warna bijinya. Semakin banyak faktor M yang ada, warnanya semakin tua atau semakin gelap.

Kapankah peristiwa polimeri dapat terjadi? Peristiwa ini terjadi pada pewarisan, warna kulit manusia. Warna kulit disebabkan oleh zat warna kulit (pigmen). Jika faktor pigmen kulit manusia dilambangkan dengan P, genotip orang berkulit putih p₁p₁ p₂p₂ p₃p₃.

Apabila pria kulit putih menikah dengan wanita kulit hitam (negero), maka keturunan F1 akan mempunyai kulit mulat (coklat sawo matang), yang berfenotip P₁p₁P₂p₂P₃p₃. Derajat kehitaman kulit bergantung pada banyaknya faktor pigmen P.

d. Epistasis-hipostasis

Kalian tentunya masih ingat tentang istilah epikotil (epi = di atas) dan hipokotil (hipo = di bawah) bukan? Istilah tersebut dapat dianalogkan dengan epistasis dan hipostasis. Dalam hal ini, epistasis adalah sebuah atau sepasang gen yang menutupi atau mengalahkan ekspresi gen lain yang tidak selokus (sealel). Bagaimana dengan Hipostasis? Hipos-

tasis adalah gen yang tertutupi oleh sebuah atau sepasang gen lain yang tidak selokus (yang bukan alelnya).

Epistasis dibedakan menjadi tiga, yaitu epistasis dominan, epistasis resesif, dan epistasis dominan resesif. Nah, agar kalian lebih memahami perbedaannya, perhatikanlah contoh berikut.

1) Epistasis Dominan

Epistasis dominan terjadi pada persilangan umbi lapis bawang berwarna merah dengan umbi berwarna kuning. Gen A menyebabkan umbi berwarna merah dan gen B menyebabkan umbi berwarna kuning.

Persilangan tersebut dapat dilihat di bawah ini.

P	♂ aaBB (kuning, homozigot)	X	♀ AAbb (merah, homozigot)
Gamet	aB		Ab
F1	AaBb (merah)		
F2	9 A_B_ (merah)	}	12 merah
	3 A_Bb (merah)		
	3 aaB_ (kuning)		
	1 aabb (putih)		

Jika dilihat, hasil perbandingan fenotip F2 tersebut adalah 12 merah : 3 kuning : 1 putih. Angka perbandingan tersebut merupakan variasi atau modifikasi dari perbandingan dihibrida 9:3:3:1.

Berdasarkan hasil yang diperoleh tersebut, dapat disimpulkan bahwa epistasis dominan terjadi bila sebuah gen dominan mengalahkan pengaruh gen lain yang bukan alelnya. Rumusnya adalah gen A bersifat epistasis terhadap gen B dan b. Oleh karena itu, meskipun dalam genotip terdapat gen B atau b, gen A tetap menutup ekspresi dari gen B dan b.

2) Epistasis Resesif

Peristiwa ini terjadi jika gen resesif mengalahkan pengaruh gen dominan dan resesif yang bukan alelnya. Rumusnya adalah gen aa epistasis terhadap B dan b. Pada persilangan antara anjing berambut emas dan anjing berambut coklat, dihasilkan keturunan F1 berambut hitam. Beberapa gen yang berperan adalah gen B (menentukan warna hitam), gen b (menentukan warna coklat), gen E (menentukan keluarnya warna), dan gen e (menghambat keluarnya warna). Peristiwa persilangannya dapat dilihat sebagai berikut.

P	♂ BBee (emas)	X	♀ bbEE (coklat)
Gamet	Be		bE
F1	BbEe (hitam)		
F2	9 B_E_ (hitam)	}	12 merah
	3 B_ee (emas)		
	3 bbE_ (coklat)		
	1 bbee (emas)		

Dari hasil penyilangan tersebut menunjukkan perbandingan fenotip 9 hitam: 4 emas: 3 coklat. Oleh karena itu, rumus epistasis resesif adalah aa epistasis terhadap B dan b. Dalam contoh ini, aa adalah ee (menghambat keluarnya warna).



Gambar 5.6 Anjing dengan berbagai macam warna bulu

Microsoft Encarta Premium 2006

3) Epistasis dominan resesif

Epistasis dominan resesif merupakan peristiwa suatu gen menghambat ekspresi fenotip yang disebabkan oleh gen mutan yang bukan alelnya. Gen mutan tersebut bersifat menghambat, sehingga disebut gen penghalang atau *inhibitor* atau gen suspensor.

Epistasis dominan resesif terjadi pada persilangan lalat buah (*Drosophila melanogaster*). Gen P menentukan warna mata merah, gen p menentukan warna mata ungu, gen S merupakan gen non-suspensor, dan s merupakan gen suspensor. Berikut ini peristiwa persilangannya.

P ♂ PPss (merah) X ♀ ppSS (ungu)
 Gamet Ps pS
 F1 PpSs
 F2 9 P_S_ (merah)
 3 P_ss (merah)
 3 ppS_ (ungu)
 1 ppss (merah)

Perbandingan fenotipnya adalah 13 merah: 3 ungu. Rumus epistasis dominan resesif adalah A epistasis terhadap B dan b serta bb epistasis terhadap A dan a.

e. Gen-gen komplementer.

Berikutnya akan kalian bahas tentang gen-gen komplementer. Apakah yang dimaksud dengan istilah tersebut? Nah, bacalah dengan cermat penjelasan berikut.

Gen-gen komplementer merupakan interaksi antara gen-gen dominan yang berbeda, sehingga saling melengkapi. Jika kedua gen tersebut terdapat bersama-sama dalam genotip, maka akan saling membantu dalam menentukan fenotip. Jika salah satu gen tidak ada, maka pemunculan fenotip menjadi terhalang. Agar lebih jelas, simaklah contoh berikut.

Apabila F1 (keturunan pertama) hasil perkawinan 2 orang yang bisu tuli disilangkan dengan sesamanya, maka generasi atau keturunan F2 ada yang normal dan bisu tuli.

P1 : ♂ BBtt X ♀ bbTT
 (bisu tuli) (bisu tuli)
 Gamet : B, t b, T
 F1 : BbTt (normal)
 P2 : ♂ BbTt >< ♀ BbTt
 (normal) (normal)
 Gamet : BT, Bt, bT, bt BT, Bt, bT, bt

♀ \ ♂	BT	Bt	bT	bt
BT	BBTT normal	BBTt normal	BbTT normal	BbTt normal

Bt	BBTt normal	BBtt bisu tuli	BbTt normal	Bbtt bisu tuli
bT	BbTT normal	BbTt normal	bbTT bisu tuli	bbTt bisu tuli
bt	BbTt normal	Bbtt bisu tuli	bbTt bisu tuli	Bbtt bisu tuli

Dalam hal ini, gen T dan gen B tidak akan menunjukkan sifat normal apabila kedua gen tersebut tidak terdapat bersama-sama dalam satu genotip. Dengan demikian, jika hanya terdapat gen T tanpa gen B, atau jika hanya terdapat gen B tanpa gen T maka akan tetap memunculkan sifat bisu tuli. Rasio fenotip F2 yang dihasilkan adalah 9 Normal : 7 bisu tuli.

f. Gen Dominan Rangkap

Masih ingatkah kalian dengan gen dominan? Gen dominan rangkap merupakan dua gen dominan yang memengaruhi bagian tubuh makhluk hidup yang sama. Kedua gen itu berada bersama-sama dan fenotipnya merupakan gabungan dari kedua sifat gen-gen dominan tersebut. Perhatikanlah contoh berikut.

Pada persilangan tanaman *Bursa* sp. yang berbuah oval dengan tanaman *Bursa* sp. yang berbuah segitiga, dihasilkan keturunan pertama (F1) yaitu tanaman *Bursa* sp. semua berbentuk oval. Untuk mengetahui hasil keturunan F2, cermatilah diagram di bawah ini:

Diagram pembastaran.

P1 : ♂ AABB (buah segitiga) X ♀ aabb (buah oval)
 Gamet : A, B a, b
 F1 : AaBb 100% buah segitiga
 P2 : ♂ AaBb (buah segitiga) >< ♀ AaBb (buah segitiga)
 Gamet : AB, Ab, aB, ab AB, Ab, aB, ab
 F2 :

♀ \ ♂	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB segitiga	AABb segitiga	AaBB segitiga	AaBb segitiga
Ab	AABb segitiga	AAbb segitiga	AaBb segitiga	Aabb segitiga
aB	AaBb segitiga	AaBb segitiga	aaBB segitiga	aaBb segitiga
ab	AaBb segitiga	Aabb segitiga	aaBb segitiga	aabb oval

Rasio Fenotip F2 adalah 15 buah segitiga : 1 buah oval

g. Atavisme

Sebelum mengetahui tentang peristiwa atavisme, cobalah ingat kembali tentang interaksi gen pada pial ayam. Pial *walnut* dihasilkan dari persilangan ayam berpial *rose* dan *pea*. Pial *pea* dikatakan menghilang dan muncul sifat di luar induknya. Setelah ayam berpial walnut disilangkan sesamanya, dihasilkan 4 macam pial yaitu *rose*, *pea*, *walnut*, dan *single*. Pada peristiwa ini, pial *rose* dan *pea* muncul kembali setelah menghilang pada keturunan pertama. Nah, oleh Charles Darwin, peristiwa munculnya kembali sifat keturunan pada generasi berikutnya setelah sempat menghilang ini disebut **atavisme**.

Atavisme juga terjadi pada burung merpati (*Columba livia*) India. Hasil perkawinan antara sesama merpati berekor seperti kipas, akan menghasilkan merpati berekor lurus. Merpati berekor seperti kipas muncul kembali setelah perkawinan antara sesama merpati berekor lurus.

Setelah kalian mempelajari materi tentang Prinsip Hereditas termasuk Hukum Mendel, berbagai contoh persilangan, dan memperhitungkan besarnya rasio genotip dan fenotip, maka untuk mengingat kembali, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

Uji Kompetensi

Kerjakanlah soal-soal berikut.

1. Apakah yang dimaksud dengan inheritansi?
2. Jelaskan objek penelitian awal Mendel dan alasan pemilihan tersebut.
3. Sebutkan beberapa hipotesis Mendel dalam menemukan Hukum Mendel I dan II.
4. Apa yang dimaksud dengan parental, filial 1 dan filial 2?
5. Bagaimanakah pernyataan Hukum Mendel I?
6. Bagaimanakah pernyataan Hukum Mendel II?
7. Apakah perbedaan antara fenotip dan genotip?
8. Jelaskan perbedaan antara persilangan monohibrida dan dihibrida.
9. Jelaskan tentang polimeri yang merupakan bentuk penyimpangan semu Hukum Mendel!
10. Jika seorang ibu bermata hitam dan berambut keriting dominan homozigot (HHKK) menikah dengan ayah bermata coklat dan berambut lurus resesif homozigot (hhkk),
 - a. bagaimana perbandingan fenotip dan genotipnya?
 - b. bagaimanakah perbandingan fenotip dan genotipnya jika ayah bermata coklat dan berambut keriting heterozigot (hhKk)?

Pada subbab sebelumnya, telah dipelajari tentang hereditas pada tumbuhan dan hewan serta pada manusia. Pada subbab berikut, akan kalian pelajari lebih khusus lagi tentang pola-pola hereditas pada manusia.

B. Pola-pola Hereditas

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, peristiwa inheritansi baik pada hewan, tumbuhan, maupun manusia akan mengikuti pola-pola hereditas. Kemudian, bagaimanakah sifat individu baru yang akan

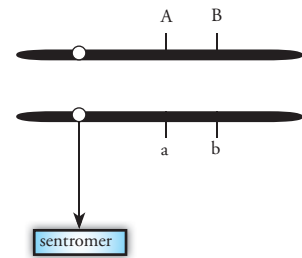
dihasilkan tersebut? Berikut akan kalian pelajari tentang pola-pola hereditas pada pewarisan sifat keturunan.

1. Tautan Autosomal

Bagian kromosom yang berperan dalam peristiwa pewarisan sifat keturunan adalah gen. Telah kalian pelajari bersama bahwa satu kromosom dapat mengandung ratusan bahkan ribuan gen. Nah, kondisi di mana dalam satu kromosom yang sama terdapat dua atau lebih gen inilah yang disebut **tautan** atau **berangkai** (*linkage*). Gen-gen yang berada pada kondisi tautan ini disebut gen-gen berangkai (Gambar 5.7). Gen-gen berangkai juga terdapat pada kromosom seks.

Berdasarkan tempat terdapatnya, kromosom dibedakan menjadi kromosom autosom (terdapat pada sel-sel tubuh diploid atau sel-sel somatis) dan kromosom seks atau gonosom (terdapat pada sel-sel kelamin). Oleh karena itu, tautan gen yang terjadi pada kromosom autosom disebut **tautan autosomal**. Sementara itu, gen yang terdapat pada kromosom seks disebut **tautan seks**.

Penemuan adanya tautan gen diawali oleh penelitian Morgan pada lalat buah (*Drosophila* sp.). Lalat buah dipilih sebagai objek penelitiannya karena mudah dan cepat berkembang biak, jumlah kromosomnya hanya 4 pasang (8 kromosom) sehingga kromosomnya mudah diamati dan dihitung, serta mudah dibedakan antara lalat jantan dan betina (lalat betina mempunyai ukuran tubuh lebih besar). Morgan melakukan persilangan dihibrida pada lalat buah, yaitu antara lalat buah betina (tubuh abu-abu dan sayap normal) dengan lalat buah jantan (tubuh hitam dan sayap keriput). Simbol vg^+ menunjukkan alel penentu warna tubuh abu-abu, vg sebagai penentu tubuh hitam, b^+ penentu sayap normal, dan b penentu sayap keriput. Warna tubuh hitam dan sayap keriput menunjukkan fenotip yang berlawanan (tidak normal) dengan fenotip yang dimiliki oleh induk betina. Fenotip tersebut dapat terjadi karena adanya perubahan gen di dalam kromosom (mutasi). Oleh karena itu, fenotip ini disebut **fenotip mutan**. Perkawinan kedua lalat buah dengan kedua induk yang memiliki fenotip saling berlawanan tersebut merupakan peristiwa test cross antara sifat dihibrida dengan resesif homozigotnya. Dengan demikian, perbandingan fenotip yang akan dihasilkan adalah 1:1:1:1. Namun, hasil tersebut tidak terjadi pada persilangan Morgan karena menunjukkan perbandingan jumlah fenotip yang jauh berbeda (tidak proporsional). Dari hasil tersebut, Morgan mendapatkan kesimpulan bahwa pewarisan warna tubuh dan bentuk sayap umumnya terjadi bersama-sama dalam kombinasi yang spesifik. Hal ini disebabkan gen-gen penentu kedua sifat atau fenotip tersebut terdapat pada satu kromosom yang sama sebagai peristiwa tautan gen.



Gambar 5.7 Gen A tertaut dengan gen B, pada 1 kromosom yang sama. Alel-alelnya a dan b tertaut pada kromosom homolognya

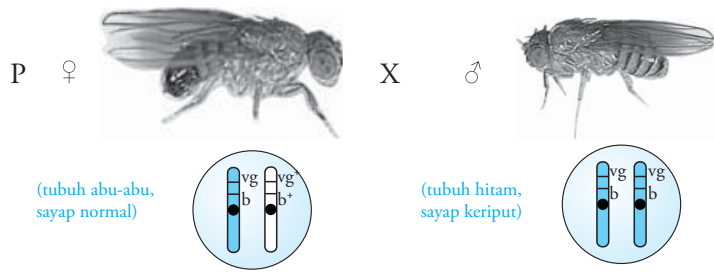
Galeri

Thomas Hunt Morgan
(1866-1945), memelopori penelitian lalat buah (*Drosophila melanogaster*) mulai tahun 1911. Penelitian tersebut sangat berharga bagi perkembangan genetika, sehingga Morgan menerima hadiah Nobel pada tahun 1933.

Day, Genetika, hlm. 16

Microsoft Encarta Premium 2006

Bentuk tautan gen dan persilangan pada lalat buah tersebut dapat dilihat sebagai berikut:



F1

Gamet ♀				
Gamet ♂				
		tipe normal (abu-abu, normal)	hitam, keriput	abu-abu, keriput

Gambar 5.8 Peristiwa tautan gen pada lalat buah

Fertilisasi antara gamet jantan dan betina akan terjadi secara acak. Pada persilangan lalat buah tersebut, terbentuk individu keturunan dengan fenotip yang berbeda dengan fenotip dari kedua induknya. Fenotip pada individu seperti ini disebut **fenotip rekombinan** (abu-abu, keriput dan hitam, normal), sedangkan fenotip individu keturunan yang sama dengan yang dimiliki induk disebut **fenotip induk** (abu-abu, normal dan hitam, keriput). Individu-individu yang dihasilkan tersebut mengalami variasi genetik yang disebabkan adanya pindah silang. Peristiwa pembentukan keturunan melalui kombinasi-kombinasi baru dari fenotip induknya ini disebut **rekombinasi genetik**.

2. Pindah Silang

Berdasarkan tempat terjadinya, pindah silang dibedakan menjadi pindah silang tunggal dan pindah silang ganda. Nah, agar lebih jelasnya perhatikan peristiwa pindah silang berikut.

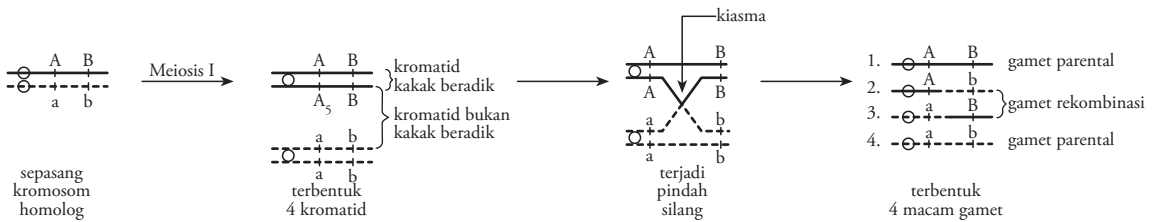
a. Pindah silang tunggal

Pindah silang ini hanya terjadi pada satu tempat saja. Hasil dari pindah silang ini akan membentuk 4 gamet. Gamet tersebut adalah

Kilas

Kalian tentunya masih ingat istilah pindah silang atau *crossing over* karena peristiwa pindah silang ini telah kalian pelajari pada Bab IV Sub Bab Pewarisan Sifat dan Variasi Genetis. Coba kalian pelajari kembali peristiwa pindah silang tersebut. Pada pindah silang, kromatid-kromatid yang bersilangan itu melekat dan putus di bagian kiasma. Kemudian setiap potongan tersebut melekat pada kromatid sebelahnya secara timbal balik.

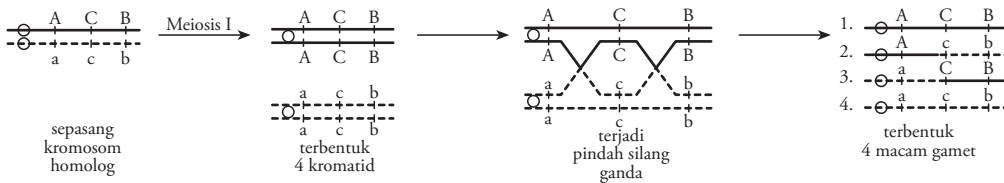
gamet tipe parental, yaitu gamet yang mempunyai gen-gen seperti induknya dan gamet tipe rekombinasi, yaitu gamet tipe baru hasil pindah silang.



Gambar 5.8 Terjadinya pindah silang tunggal

b. Pindah silang ganda

Pindah silang ini terjadi pada 2 tempat (kiasmata). Seperti halnya pada pindah silang tunggal, pindah silang ganda ini juga menghasilkan 4 kromatid dan 4 gamet.



Gambar 5.9 Terjadinya pindah silang ganda

Pindah silang tersebut terjadi pada individu trihibrid (dengan 3 gen berangkai). Gamet no 1 dan 4 merupakan gamet tipe parental, sedangkan gamet no 2 dan 3 merupakan gamet tipe rekombinasi.

Dengan dihasilkannya individu-individu tipe parental dan tipe rekombinasi, maka dapat dihitung besarnya persentase kombinasi baru yang dihasilkan sebagai akibat terjadinya pindah silang. Nilai ini disebut **nilai pindah silang (NPS)**.

Rumus perhitungan nilai pindah silang adalah sebagai berikut:

$$\text{NPS} = \frac{\text{Jumlah tipe rekomendasi}}{\text{Jumlah seluruh individu yang dihasilkan}} \times 100\%$$

Persentase nilai pindah silang tersebut menunjukkan kekuatan pindah silang antara gen-gen yang tertaut.

Selanjutnya, untuk lebih memahami tentang peristiwa pindah silang, ikutilah rubrik *Percobaan* berikut ini.

Percobaan

Menggunakan Imitasi (Tiruan) Tautan dan Pindah Silang

A. Dasar Teori

Peristiwa pindah silang dapat terjadi pada saat meiosis I atau meiosis II selama pembentukan gamet. Kromatid-kromatid dari pasangan kromosom homolog dapat melakukan pindah silang ini. Hasil dari pindah silang adalah individu tipe parental dan individu tipe rekombinasi.

B. Tujuan

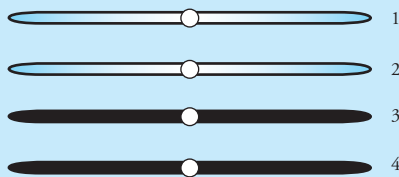
Menirukan peristiwa tautan dan pindah silang menggunakan lilin.

C. Alat dan Bahan

1. Pensil berwarna
2. Penggaris
3. Lilin malam yang lembek bermacam warna

D. Langkah Percobaan

1. Bentuklah lilin tersebut menjadi 2 bentuk silinder (bulat panjang) dengan warna yang sama sebagai 2 kromatid dan 2 silinder lagi dengan warna yang lain, sebagai pasangan kromatid yang lain.
2. Berilah tanda lokasi sentromer dengan menggunakan lilin yang warnanya sama dengan setiap pasang kromatid.
3. Susun dan nomorilah kromatid-kromatid tersebut seperti pada gambar berikut:



4. Buatlah gambaran terjadinya pindah silang dengan ketentuan sebagai berikut.
 - a. Pindah silang tunggal antara kromatid no 2 dan 3
 - b. Pindah silang ganda antara kromatid no 2 dan 3, serta kromatid no 2 dan 3
 - c. Pindah silang ganda antara kromatid no 2 dan 3, serta kromatid no 3 dan 4

E. Pembahasan

Dari setiap macam pindah silang yang kalian lakukan, gambarlah kromosomnya dan berapa sajakah persentase setiap tipe gamet yang dihasilkan. Jelaskan maksud nilai dari persentase tersebut.

Macam pindah silang yang kalian lakukan	Gambar kromosom pada gamet yang dihasilkan	Persentase gamet tipe parental dan rekombinasi
a		
b		
c		

Setelah menyelesaikan percobaan pindah silang, berikut ini pola hereditas selanjutnya.

3. Tautan Seks

Jumlah kromosom pada manusia, lalat, dan hewan yang lain tentunya mempunyai perbedaan. Kromosom manusia terdiri dari 23 pasang, berupa 22 pasang kromosom autosom dan 1 pasang kromosom kelamin atau gonosom (kromosom X dan kromosom Y). Jagung mempunyai 10 pasang kromosom, sedangkan lalat buah mempunyai 8 pasang kromosom termasuk kromosom kelamin. Seperti halnya tautan kromosom, peristiwa tautan seks ini dapat dipelajari juga pada lalat buah. Tautan seks dibedakan menjadi tautan kromosom X dan tautan kromosom Y. Seperti apakah tautan seks tersebut? Simaklah uraian berikut ini.

a. Tautan Kromosom X

Tautan kromosom X berarti kromosom X membawa gen yang dapat diturunkan pada keturunannya baik jantan atau betina. Kromosom kelamin pada lalat betina sama seperti pada manusia, yaitu terdiri dari 2 kromosom X (♀ XX), sedangkan pada lalat jantan terdiri dari 1 kromosom X dan 1 kromosom Y (♂ XY). Sebelum mempelajari persilangan pada lalat buah, simbol-simbol gen yang digunakan yaitu gen +, penentu warna mata merah (normal atau *wild type*) dan gen w, penentu warna mata putih (*white eye*).

Lalat buah betina mata merah homozigot dikawinkan dengan lalat jantan mata putih, ternyata F1 nya berkelamin jantan dan betina masing-masing bermata merah. Setelah sesama F1 tersebut dikawinkan, dihasilkan keturunan F2 sebanyak 2 lalat buah betina bermata merah dan 2 lalat buah jantan masing-masing bermata merah dan putih. Untuk lebih jelasnya, berikut ini adalah diagram persilangannya:

P1	♂ X ⁺ X ⁺	X	♀ X ^w Y
	(mata merah)		(mata putih)
Gamet	X ⁺		X ^w dan Y
F1	♀ X ⁺ X ^w (betina, mata merah)		
	♂ X ⁺ Y (jantan, mata merah)		

P2	♂ X ⁺ X ^w	X	♀ X ⁺ Y
Gamet	X ⁺ dan X ^w		X ⁺ dan Y
F2	♀ X ⁺ X ⁺ (betina, mata merah)		
	♀ X ^w X ⁺ (betina, mata merah)		
	♂ X ⁺ Y (jantan, mata merah)		
	♂ X ^w Y (jantan, mata putih)		

Pada persilangan ini, gen penentu warna mata hanya dibawa oleh kromosom X saja (baik kromosom pada kelamin jantan atau betina). Hasil persilangan tersebut menunjukkan bahwa warna merah dominan terhadap warna putih dan gen dominan (+) terangkai pada kromosom X. Beberapa contoh gen yang hanya terdapat pada kromosom X adalah gen penentu warna bulu pada burung, gen penentu warna rambut

pada kucing, gen penentu kelainan buta warna, *anodontia*, dan hemofilia. Kelainan-kelainan tersebut akan dibahas pada subbab Hereditas Pada Manusia.

b. Tautan Kromosom Y

Seperti halnya tautan kromosom X, tautan kromosom Y berarti bahwa pada kromosom Y terdapat gen yang hanya diturunkan pada keturunan laki-laki atau jantan saja. Oleh karena itu, jika gen dominan terdapat pada kromosom Y, maka setiap keturunan jantan atau laki-laki akan mewarisi sifat dominan tersebut. Pewarisan sifat ini disebut **holandrik**. Gen pada kromosom Y dapat berangkai, demikian juga pada kromosom X. Beberapa contoh gen yang hanya terdapat pada kromosom Y adalah gen penentu jari-jari berselaput, gen penentu tumbuhnya rambut pada telinga, serta gen penentu tumbuhnya rambut panjang dan kaku pada manusia yang juga akan dibahas pada subbab Hereditas Pada Manusia.

Sebelum kalian mempelajari tentang determinasi seks, ikutilah rubrik *Diskusi* berikut ini.

Diskusi

Dari uraian tentang tautan seks tersebut, tentunya kalian akan dapat membedakan istilah tautan seks dengan tautan gen. Diskusikan perbedaan istilah tautan gen dan tautan seks tersebut dengan teman kalian. Jika gen resesif penentu sifat hanya terdapat pada kromosom Y, dan terjadi perkawinan dengan wanita dominan homozigot, mungkinkah sifat dari gen kromosom Y tersebut diturunkan pada keturunannya yang betina atau wanita? Diskusikan selengkap mungkin, selanjutnya koreksikanlah hasil diskusi tersebut kepada guru kalian.

Nah, setelah kalian memahami tentang tautan seks dan tautan gen melalui rubrik *Diskusi*, berikut ini akan kalian pelajari tentang determinasi seks.

4. Determinasi Seks

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa jumlah kromosom pada tumbuhan, hewan, dan manusia mempunyai perbedaan. Perbedaan ini juga terjadi pada susunan kromosom kelamin atau kromosom seks pada tumbuhan, hewan, dan manusia tersebut.

Susunan kromosom pada jenis kelamin jantan atau pria tentunya berbeda dengan jenis kelamin betina atau wanita. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh 2 faktor. Faktor yang pertama adalah faktor lingkungan, di mana individu keturunan jantan maupun betina yang dihasilkan melalui fertilisasi dapat dipengaruhi oleh faktor fisiologi induknya. Jika produksi dan peredaran atau kadar hormon kelamin dalam tubuh tidak seimbang, maka pernyataan fenotip tentang jenis kelaminnya dapat berubah. Akibatnya, watak kelaminnya juga mengalami perubahan. Faktor kedua adalah faktor genetik. Secara umum, faktor genetiklah yang paling menentukan jenis kelamin suatu individu. Komposisi kromosom dapat memengaruhi perbedaan jenis kelamin.

Pada tahun 1891, seorang biolog Jerman bernama **H. Henking** yang sedang melakukan penelitian tentang spermatogenesis, mengamati adanya struktur tertentu pada nukleus spermatozoa serangga. Henking menyebut struktur tersebut sebagai “badan X” kemudian membedakan antara spermatozoa berbadan X dengan spermatozoa tanpa badan X. Pembuktian hal tersebut dilakukan pada tahun 1902 oleh **Mc Clung**. Clung tidak menemukan adanya badan X tersebut pada sel telur belalang betina. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa badan X memiliki hubungan dengan jenis kelamin. Setelah penelitian dilanjutkan oleh **Wilson dan Steven**, dinamakanlah badan X tersebut sebagai kromosom X.

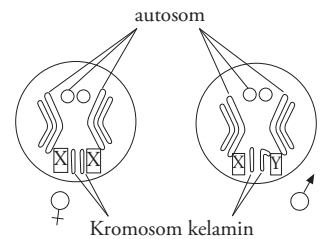
Berikut ini akan kalian pelajari tentang tipe-tipe penentuan jenis kelamin (determinasi seks) yang telah dikenal pada hewan, tumbuhan, dan manusia.

a. Tipe XY

Tipe penentuan seks ini dapat dijumpai pada lalat buah, manusia, tumbuh-tumbuhan berumah dua, dan pada hewan menyusui.

Pada nukleus lalat buah terdapat 8 buah kromosom (4 pasang) yang terdiri dari 3 pasang kromosom tubuh (autosom) dan 1 pasang kromosom seks. (perhatikan Gambar 5.10). Kromosom seks pada lalat betina mempunyai 2 kromosom X (bentuknya batang lurus), sedangkan pada lalat jantan terdiri dari kromosom X dan kromosom Y (lebih pendek dari kromosom X dan salah satu ujungnya membengkok). Formula kromosom lalat buah betina adalah 8,XX (3 pasang kromosom atau 6 buah autosom + 1 pasang kromosom X), sedangkan lalat buah jantan adalah 8,XY (3 pasang kromosom autosom + 1 kromosom X + 1 kromosom Y).

Sebelum melanjutkan materi ini lebih lanjut, ikutilah rubrik *Diskusi* berikut.



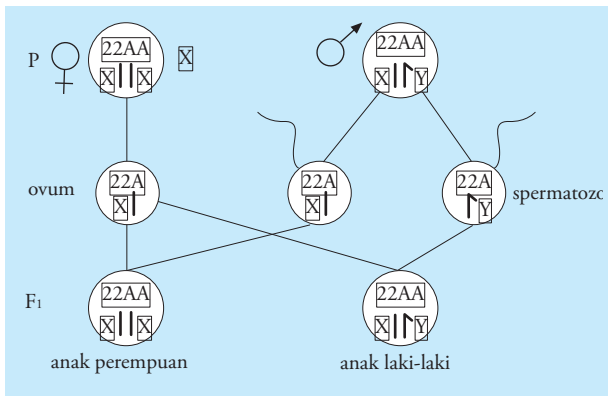
Gambar 5.10 Susunan kromosom pada nukleus lalat buah.

Suryo, Genetika, hlm. 165

Diskusi

Jumlah wanita dan pria pada suatu tempat tentunya berbeda-beda. Menurut kalian, mengapa hal itu terjadi? Jelaskan argumen kalian berdasarkan aspek biologis (sifat-sifat sperma atau ovum), agama, geografi, dan juga aspek fisiologi (misalnya umur). Kalian dapat mencari literatur yang mendukung argumen tersebut. Diskusikanlah bersama teman kelompok kalian dan presentasikan di depan gurumu.

Jumlah kromosom pada manusia adalah 46 buah (23 pasang). Pada wanita, terdapat 22 pasang autosom dan 1 pasang kromosom X (46,XX), sedangkan pada laki-laki terdapat 22 pasang autosom, 1 kromosom X, dan 1 kromosom Y (46,XY). Pada gametogenesis, dihasilkan ovum (sel telur) haploid sehingga mengandung 22 autosom (11 pasang) dan 1 kromosom X. Pada spermatogenesis dihasilkan spermatozoa yang mengandung 22 autosom dan 1 kromosom X serta spermatozoa yang mengandung 22 autosom dan 1 kromosom Y. Lalu, bagaimanakah terjadinya pembentukan jenis kelamin laki-laki atau perempuan? Hal ini dapat kalian lihat pada skema pembentukan jenis kelamin (perhatikan Gambar 5.11).



Gambar 5.11 Skema pembentukan jenis kelamin

Selain pada manusia dan lalat, hewan menyusui mempunyai sistem kelamin XY (jantan) dan XY (betina). Demikian juga pada tumbuhan berumah dua (tumbuhan yang satu sebagai tumbuhan betina dan yang satu sebagai tumbuhan jantan), misalnya salak (*Salacca edulis*).

b. Tipe XO

Tipe XO ini dijumpai pada serangga seperti belalang (Ordo Orthoptera) dan kepik (Ordo Hemiptera). Pada belalang tidak dijumpai adanya kromosom Y sehingga

hanya mempunyai kromosom X saja. Oleh karena itu, belalang jantan bertipe XO dan belalang betina bertipe XX (mempunyai sepasang kromosom X).

c. Tipe ZW

Tipe ini dijumpai pada serangga (kupu-kupu), beberapa jenis ikan dan reptil. Berbeda dengan tipe seks pada manusia dan lalat buah yang **homogametik** (terdiri dari kromosom kelamin yang sama) pada betina atau wanita, tipe seks ZW pada betina bersifat **heterogametik** (terdiri dari kromosom kelamin yang berbeda). Agar tidak terjadi kekeliruan dengan tipe penentuan kelamin XY, maka digunakan Z dan W. Oleh karena itu, yang betina mempunyai tipe ZW (atau XY) dan yang jantan mempunyai tipe ZZ (atau XX).

d. Tipe ZO

Tipe ZO dijumpai pada unggas seperti ayam dan itik. Unggas betina juga bersifat heterogametik, yaitu hanya mempunyai satu kromosom X saja, sehingga tipenya adalah ZO atau XO. Unggas jantan bersifat homogametik, sehingga tipenya adalah ZZ atau XX.

5. Gen Letal

Individu baru yang dihasilkan dari perkawinan induk tidak selalu berada dalam keadaan hidup. Secara genetik, hal ini dapat disebabkan oleh adanya **gen letal**, yaitu gen yang jika berada dalam keadaan homozigotik, ia dapat menyebabkan kematian individu. Oleh karena itu, adanya gen letal menyebabkan perbandingan fenotip keturunan yang dihasilkan akan menyimpang dari Hukum Mendel.

Dengan adanya gen letal, fungsi gen akan mengalami gangguan dalam menumbuhkan sifat atau fenotip. Adanya gen letal ini dapat disebabkan oleh mutasi (akan dibahas pada bab berikutnya). Gen letal akan berpengaruh atau dapat menyebabkan kematian saat individu masih berada dalam tahap embrio, pada saat kelahiran individu, atau setelah individu berkembang dewasa.

Lalu, gen apa sajakah yang dapat menyebabkan kematian tersebut? Gen letal dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu gen dominan letal dan gen resesif.

a. Gen dominan letal

Gen dominan letal adalah gen dominan yang dapat menyebabkan kematian jika bersifat homozigotik. Contoh adanya gen dominan letal ini terdapat pada ayam “Creepers” (ayam redep), tikus kuning, dan manusia.

Jika ayam redep (ayam yang bertubuh normal, tetapi kakinya pendek) heterozigotik dikawinkan dengan sesamanya, maka akan dihasilkan keturunan ayam letal, ayam redep, dan ayam normal. Gen C sebagai penentu ayam redep dan gen c sebagai penentu ayam normal. Hal ini dapat dilihat pada persilangan berikut.

P	♀	Cc	X	♂	Cc
		(ayam redep)			(ayam redep)
Gamet		C dan c			C dan c
F1		CC = letal	1		
		Cc = redep	} 2		
		Cc = redep			
		cc = normal	1		

Berdasarkan Hukum Mendel, perbandingan fenotip yang diharapkan adalah 3 : 1. Dengan adanya gen letal yaitu gen dominan C yang homozigotik (CC), maka terjadi penyimpangan perbandingan fenotip menjadi 2 redep : 1 normal. Gen letal tersebut menyebabkan ayam mati dalam keadaan embrio.

Pada manusia, gen dominan letal dapat menyebabkan **Thalasemia**, yaitu kelainan akibat rusak atau pecahnya (hemolisis) eritrosit, dengan ciri-ciri: ukuran eritrosit kecil berbentuk lonjong (tidak bulat bikonkaf), jumlahnya melebihi normal, dan daya ikat terhadap oksigen rendah. Thalasemia dibedakan menjadi dua, yakni:

a). Thalasemia Mayor

Thalasemia mayor merupakan thalasemia yang parah, sehingga menyebabkan kematian saat bayi. Thalasemia mayor disebabkan gen dominan homozigot (ThTh).

b). Thalasemia Minor

Pada thalasemia minor ini, terjadi sedikit kerusakan pada eritrosit atau penderita hanya mengalami anemia (kekurangan darah). Penderita biasanya masih dapat hidup, meskipun mengalami anemia. Thalasemia minor disebabkan oleh gen heterozigot (Thth). Oleh karena itu, orang yang normal mempunyai genotip resesif homozigot (thth).

b. Gen resesif letal

Gen resesif letal adalah gen resesif yang menyebabkan kematian jika dalam keadaan homozigot. Gen ini dijumpai pada tanaman jagung, yaitu gen G sebagai pembentuk klorofil dan gen g yang menyebabkan tidak terbentuknya klorofil jika bersifat homozigotik.

Persilangan antara sesama tanaman jagung berdaun hijau heterozigotik dapat dilihat sebagai berikut.

P	♀	Gg	X	P ♂	Gg
		(hijau)			(hijau)
Gamet		G dan g			G dan g
F1		GG = hijau			} 3
		Gg = hijau			
		Gg = hijau			
		gg = putih atau albino (letal)			

Pada persilangan tanaman jagung tersebut, diketahui perbandingan fenotip yang dihasilkan semula adalah 75% berdaun hijau : 25% berdaun putih. Tanaman berdaun hijau dapat menjalankan proses fotosintesis serta dapat menyerap zat makanan dengan akarnya. Namun, tanaman berdaun putih dengan akar yang belum sempurna hanya mampu bertahan selama 14 hari saja, yaitu dengan menerima makanan dari endospermnya (putih lembaga). Tanaman putih tidak dapat berfotosintesis karena tidak memiliki klorofil pada daunnya. Setelah 14 hari, tanaman tersebut segera mati. Oleh karena itu, persilangan dua tanaman monohibrida tersebut tidak menghasilkan perbandingan fenotip 3 : 1, tetapi terjadi penyimpangan yaitu menjadi 3 : 0.

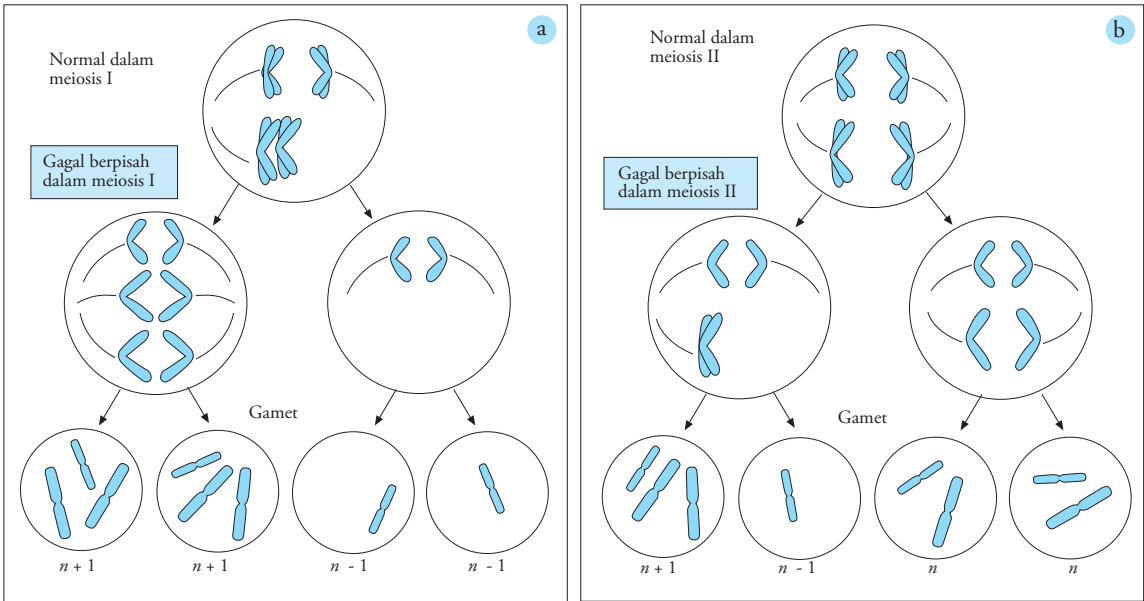
Selain pada jagung, contoh gen resesif letal antara lain: gen penyebab perlekatan paru-paru sehingga bayi mati saat dilahirkan, gen penyebab bentuk tulang rawan tidak normal (salah), penyebab mencit berekor pendek, alat buah bermata bintang, dan gen penyebab kelainan darah (**Sickleemia**).

Sickleemia pada manusia atau *sickle cell* merupakan keadaan pada seseorang yang mempunyai eritrosit berbentuk bulan sabit. Hal ini menyebabkan terganggunya peredaran darah. Gen penyebab sickleemia adalah gen resesif homozigot yang bersifat letal (ss). Sementara itu, pada orang normal dapat mempunyai genotip SS (dominan homozigot) atau heterozigot (Ss).

6. Non-disjunction

Sebelum kalian mempelajari lebih lanjut tentang gagal berpisah ini, ada beberapa hipotesis tentang hubungan (korelasi) pemindahan kromosom dengan gen, antara lain: pertama, pada sel somatik (sel-sel tubuh) terdapat 2 kelompok kromosom yang identik (homolog), yang satu berasal dari induk jantan dan satu lagi dari induk betina. Terdapatnya kromosom-kromosom dalam pasangan-pasangan kromosom yang tidak identik adalah sejajar dengan terdapatnya gen-gen dalam pasangan; kedua, kromosom-kromosom tetap mempunyai sifat morfologi yang sama sepanjang berbagai pembelahan sel. Demikian pula gen-gen akan menunjukkan kontinuitas yang sama; ketiga, setiap kromosom atau setiap pasang kromosom mempunyai peranan tertentu dalam kehidupan dan perkembangan individu; dan keempat, selama

meiosis, kromosom-kromosom homolog berpasangan dan kemudian anggota dari pasangan kromosom tersebut memisah secara bebas ke sel-sel kelamin. Gen-gen juga memisah secara bebas sebelum terbentuknya gamet.



Gambar 5.12 a. Gagal berpisah saat meiosis I (Anafase I), b. Gagal berpisah saat meiosis II (Anafase II)

Nah, pada uraian ini, kalian akan menemukan peristiwa yang tidak mengikuti hipotesis yang terakhir tersebut. Selama pembentukan individu keturunan, dapat terjadi beberapa kemungkinan peristiwa yang tidak berjalan normal. Salah satu dari peristiwa tersebut adalah peristiwa gagal pemisahan kromosom pada saat meiosis (pembentukan gamet) dan disebut gagal berpisah atau *non-disjunction*. Gagal berpisah dapat terjadi pada peristiwa meiosis yaitu pada anafase I atau pada anafase II sehingga pasangan kromatid tidak dapat memisahkan diri. Peristiwa gagal berpisah tersebut menyebabkan terjadinya perubahan jumlah kromosom pada individu keturunannya (berkurang atau bertambah), baik pada kromosom seks maupun autosom.

Hal-hal apa sajakah yang menyebabkan gagal berpisah? Gagal berpisah tersebut kemungkinan dapat disebabkan oleh beberapa hal, yaitu:

- Adanya virus atau kerusakan akibat radiasi. Pengaruh ini akan mudah terlihat pada wanita yang telah berumur tua.
- Kandungan antibodi tiroid yang tinggi
- Sel telur dalam saluran telur yang tidak segera dibuahi akan mengalami kemunduran. Oleh karena itu, risiko melahirkan anak yang cacat akan dialami oleh wanita berumur lebih dari 25 tahun.

Setelah kalian mempelajari pola-pola hereditas, untuk menguji kemampuan kalian, kerjakanlah *Uji Kompetensi* berikut.

Uji Kompetensi

1. Jelaskan perbedaan antara autosom dan gonosom.
2. Apa yang dimaksud dengan rekombinasi genetik?
3. Jelaskan perbedaan fenotip rekombinan dengan fenotip induk.
4. Apa yang dimaksud dengan pindah silang? Sebutkan macamnya.
5. Jelaskan tentang nilai pindah silang (NPS).
6. Apa yang dimaksud dengan gamet tipe parental dan gamet tipe rekombinasi?
7. Jelaskan apa perbedaan antara tautan dan tautan seks.
8. Apa pengertian *non-disjunction*?
9. Sebutkan dan berilah contoh tipe-tipe determinasi seks.
10. Sebutkan macam-macam gen letal, dan berilah contohnya masing-masing.

Nah, setelah kalian mempelajari pola-pola hereditas, berikut akan kalian pelajari tentang hereditas khusus pada manusia.

C. Hereditas pada Manusia

Kalian telah mengetahui bersama bahwa manusia satu dengan manusia lainnya di dunia ini tentunya tidak ada yang sama persis (benar-benar identik). Penyebabnya ialah adanya materi genetik yang mempunyai sifat-sifat berbeda antarindividu. Dalam ilmu tentang materi genetik (genetika), telah banyak dipelajari tentang peristiwa penurunan sifat, baik pada tumbuhan, hewan, maupun manusia. Di antara objek yang dipelajari dalam genetika tersebut, genetika manusia paling lambat perkembangannya dibandingkan pada hewan dan tumbuhan. Beberapa hambatan yang menyebabkan lambatnya perkembangan tersebut, antara lain: sulitnya mencari objek (manusia) untuk penelitian, sulitnya mengarahkan manusia dalam mencapai tujuan atau keinginan peneliti, sulitnya mengamati perkembangan sifat manusia yang mengarah pada tujuan peneliti, keturunan manusia yang relatif lebih sedikit dibandingkan hewan dan tumbuhan karena umur atau siklus hidup manusia lebih panjang, serta lingkungan manusia yang tidak mudah bahkan tidak dapat dikontrol.

Setelah kalian mengetahui adanya beberapa hambatan dalam perkembangan genetika manusia, bagaimanakah cara yang dilakukan untuk mengatasi hambatan tersebut? Cara-cara untuk mengatasi masalah tersebut dapat dilakukan dengan membuat peta silsilah keluarga atau keturunan (*pedegree chart*) dan menerapkan hasil percobaan hewan pada manusia. Selain itu, dapat juga dilakukan dengan mempelajari adanya fenomena-fenomena pada manusia seperti munculnya anak kembar hasil perkawinan.

Kalian tentunya mengetahui hal apa saja yang diwariskan pada manusia, bukan? Ya, sifat-sifat pada manusia yang dapat diwariskan

Galeri

Frekuensi Kelahiran Anak Kembar

Frekuensi kelahiran anak kembar tertinggi se-Eropa adalah di Irlandia. Sebagian besar dilahirkan oleh wanita yang sudah tua, yaitu 14 pasang untuk setiap 1000 kelahiran. Sementara itu, frekuensi kelahiran anak kembar di Asia dan Jepang sangat rendah, rata-rata hanya 1 pasang untuk 160 kelahiran.

Suryo, *Genetika Manusia*, hlm. 433

meliputi: jenis kelamin, kelainan atau cacat menurun, dan golongan darah. Selain itu, ada juga ekspresi gen-gen (genotip) yang ditentukan oleh jenis kelamin. Peristiwa pembentukan jenis kelamin pada manusia telah kalian pelajari sebelumnya. Oleh karena itu, pada uraian berikut akan kalian pelajari tentang tiga hal yang diwariskan pada manusia.

1. Kelainan atau Cacat Menurun

Pewarisan sifat pada manusia terhadap keturunannya mengikuti pola-pola tertentu. Masih ingatkah kalian dengan istilah autosom dan gonosom? Cobalah ingat kembali.

Setelah kalian ingat istilah autosom dan gonosom, ikutilah rubrik *Diskusi* ini, sebelum melanjutkan ke pembahasan tentang cacat atau kelainan menurun.

Diskusi

Menurut kalian, samakah antara penyakit dengan cacat atau kelainan? Carilah persamaan atau perbedaannya jika ada, kemudian carilah contoh-contohnya. Diskusikan dengan kelompok kalian serta koreksikan pada guru kalian.

Sifat-sifat yang diturunkan pada anak-anak yang dilahirkan belum tentu sesuai dengan harapan orang tua. Ada beberapa individu keturunan yang bersifat normal sebagaimana harapan orang tua pada umumnya, ada pula beberapa keturunan yang mempunyai sifat yang tidak diharapkan oleh orang tuanya, seperti mengalami cacat atau kelainan menurun (sindrom).

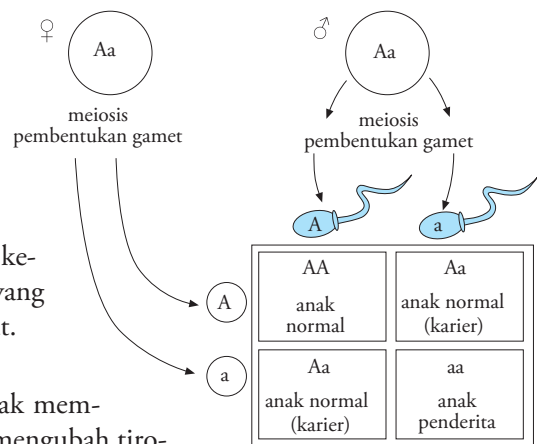
Pewarisan sifat pada manusia dapat diturunkan melalui kromosom seks (kromosom X dan kromosom Y) atau kromosom autosom. Kelainan dapat disebabkan oleh gen-gen yang terpaut pada kromosom tubuh maupun gonosom. Sebelumnya, telah kalian pelajari tautan seks pada hewan atau tumbuhan. Pada materi ini, kalian akan mempelajari tautan seks tersebut pada manusia.

a. Kelainan oleh alel resesif dan dominan autosomal

Kelainan ini diturunkan dari kromosom sel-sel diploid tubuh. Kelainan ini dapat ditentukan oleh gen dominan atau resesif pada autosom tersebut. Oleh karena itu, kelainan ini dapat diturunkan pada keturunan pria atau wanita. Beberapa contoh kelainan yang terpaut pada autosom manusia adalah sebagai berikut.

1) Albinisma (Albino)

Kelainan ini terjadi karena tubuh seseorang tidak mempunyai gen yang mampu membentuk enzim untuk mengubah tiro-sin menjadi pigmen melanin (pembentuk warna kulit). Gen tersebut adalah gen dominan A. Oleh karena itu, orang yang normal akan



Gambar 5.13 Skema perkawinan pembentuk individu albino.



Gambar 5.14 Individu albino.

mempunyai genotip AA atau Aa dan orang albino tidak mempunyai gen A atau mempunyai genotip aa (resesif homozigot).

Penderita albino mempunyai ciri-ciri yaitu seluruh bagian tubuhnya tidak berpigmen. Kulit badan dan matanya berwarna merah jambu karena warna darah menembus kulit. Oleh karena itu, matanya sangat sensitif terhadap cahaya. Perhatikan Gambar 5.14.

Pada perkawinan dua orang yang normal, heterozigot dapat menghasilkan keturunan albino. Hal ini disebabkan kedua orang tuanya mempunyai gen resesif yang akan bergabung membentuk gen resesif homozigot (aa). Orang tua yang terlihat normal tetapi dapat menurunkan albino kepada anaknya ini disebut “carrier”.

2) Gangguan Mental

Salah satu contoh bentuk gangguan mental adalah idiot, yang ditentukan oleh gen resesif homozigot (gg) seperti pada albino. Anak idiot umumnya diturunkan dari kedua orang tua yang normal heterozigot (Gg). Nah, cobalah kalian buat sendiri skema perkawinannya. Penderita ini mempunyai ciri-ciri, antara lain: wajahnya menunjukkan kebodohan, reflek (daya respon)nya lambat, kulit dan rambutnya kekurangan pigmen, umumnya tidak berumur panjang, steril (tidak mampu menghasilkan keturunan atau mandul), dan jika urinya ditetesi larutan fenil oksida 5% akan berwarna hijau kebiruan karena terdapatnya senyawa derivat fenil ketourinarin (FKU). Senyawa ini tidak ditemukan pada orang normal. Adanya senyawa FKU ini disebabkan tidak adanya enzim pengubah asam amino fenilalanin menjadi tirosin.

3) Brachydactily (Brakhidaktili)

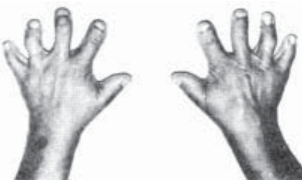
Brachydactily adalah keadaan seseorang yang mempunyai jari-jari pendek atau tidak normal (Gambar 5.15). Hal ini terjadi karena pendeknya tulang-tulang pada ujung jari dan tumbuh menjadi satu. Kelainan ini disebabkan oleh gen dominan B. Orang yang normal akan mempunyai genotip homozigot resesif (bb). Genotip homozigot dominan (BB) menyebabkan individu letal.

4) Cystinuria (Sistinuria)

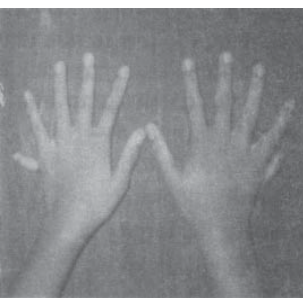
Cystinuria adalah keadaan seseorang yang mempunyai kelebihan asam amino sistein yang sukar larut, diekskresikan dan ditimbun menjadi batu ginjal. Kelainan ini disebabkan oleh adanya gen dominan homozigot (CC).

5) Polydactily (Polidaktili)

Selain ada brakhidaktili, ada juga polidaktili, yaitu keadaan seseorang yang mempunyai kelebihan (tambahan) jari pada tangan atau kaki (Gambar 5.16). Jadi jumlah jari kaki atau tangannya lebih dari lima. Polidaktili disebabkan oleh adanya gen dominan homozigot (PP). Karena itu, genotip orang normal adalah Pp atau pp.



Gambar 5.15 Brachydactily



Gambar 5.16 Polidaktili pada kedua tangan

b. Kelainan oleh alel resesif pada gonosom X

Alel resesif atau dominan pada kromosom X juga dapat menentukan terjadinya kelainan pada individu keturunan manusia. Pada manusia, telah dikenal lebih dari 150 sifat keturunan yang kemungkinan disebabkan oleh gen-gen tertaut kromosom X. Beberapa kelainan, terutama akibat alel resesif pada kromosom X tersebut adalah:

1) Buta Warna

Buta warna dibedakan menjadi 2 tipe. Yang pertama adalah tipe **protan**, yaitu apabila tidak dapat membedakan warna hijau karena bagian mata yang sensitif terhadap warna hijau tersebut rusak. Kedua adalah tipe **deutan**, yaitu apabila yang rusak adalah bagian mata yang sensitif terhadap warna merah. Tipe deutan ini paling sering terjadi.

Buta warna disebabkan oleh gen resesif *c* (*colour blind*) pada kromosom X. Gen ini tidak dijumpai pada kromosom Y. Oleh karena itu, wanita dapat mempunyai genotip CC (normal homozigot), Cc (normal heterozigot), atau cc (buta warna). Sementara itu, pria hanya dapat mempunyai gen C (normal) atau c (buta warna) saja.

P	♀	X ^c	X ^c	x	♂	X ^C	Y
		(buta warna)				(normal)	
Gamet		X ^c				X ^C dan Y	
F1	50%	♀	X ^C	X ^c		(normal)	
	50%	♂	X ^c	Y		(buta warna)	

Dari perkawinan tersebut, tampak bahwa sifat dari orang tua wanita (buta warna) akan diwariskan pada keturunan pria. Sebaliknya, sifat dari orang tua pria (normal) akan diwariskan kepada keturunan wanita. Pewarisan sifat yang bersilang ini merupakan ciri khas pada pewarisan gen-gen tertaut kromosom X dan disebut **criss-cross inheritance**.

2) Anodontia

Anodontia merupakan kelainan pada seseorang yang tidak mempunyai benih gigi pada rahangnya, sehingga gigi tidak dapat tumbuh selamanya. Kelainan ini banyak ditemukan pada pria. Menurut para ahli, penderita anodontia juga menunjukkan ciri seperti berambut jarang dan susah berkering. Gen resesif penyebab anodontia adalah *a*, sehingga pewarisan sifatnya juga seperti pada buta warna.

3) Hemofilia

Sebelum ditemukan, penyakit hemofilia mula-mula dikenal di negara-negara Arab. Pada waktu itu, seorang anak mengalami pendarahan akibat dikhitan (disunat). Sementara itu, putera mahkota Alfonso dari Spanyol juga meninggal akibat pendarahan karena kecelakaan. Selanjutnya, penelitian mendalam tentang hemofilia juga dilakukan pada anggota kerajaan Inggris. Ratu Victoria adalah orang yang dikenal pertama kali sebagai *carrier* hemofilia yaitu mempunyai genotip heterozigotik (Suryo, 2005). Gen penentu hemofilia adalah gen resesif *h*. Berbeda dengan buta warna dan anodontia, genotip resesif homozigot pada hemofilia bersifat letal.

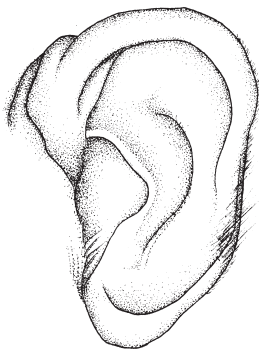
Hemofilia merupakan suatu penyakit keturunan, dengan ciri sulitnya darah membeku saat terjadi luka. Waktu yang diperlukan oleh seorang penderita hemofilia untuk pembekuan darah adalah 50 menit hingga 2 jam, sehingga akan menyebabkan perdarahan bahkan kematian. Sementara itu, orang yang normal hanya memerlukan waktu 5-7 menit untuk pembekuan darah.

c. Kelainan oleh alel resesif pada gonosom Y

Karena yang mempunyai kromosom Y hanya pria, maka kelainan ini hanya dialami oleh pria saja. Agar lebih mudah dalam mempelajari kelainan oleh alel resesif pada gonosom Y, simak tabel berikut.

Tabel 5.3. Contoh Kelainan oleh Alel Resesif pada Gonosom Y

Kelainan	Alel resesif	Ciri-ciri	Keterangan
Hypertrichosis	H	Rambut tumbuh pada bagian-bagian tertentu di tepi daun telinga.	Sering dijumpai di India dan Pakistan
Hystrigraevier	Hg	Rambut tumbuh panjang dan kaku di permukaan tubuh menyerupai duri landak	Pada abad ke-18, penderita (disebut <i>Porcupine man</i>) ini pernah ditemukan. Namun, Penrose dan stern (1958) tidak begitu yakin jika kelainan ini tertaut kromosom Y.
Webtoes	wt	Kulit tumbuh diantara jari-jari (terutama kaki)	Kaki atau tangan yang berselaput ini menyerupai kaki katak atau burung air.



Gambar 5.17 *Hypertrichosis*

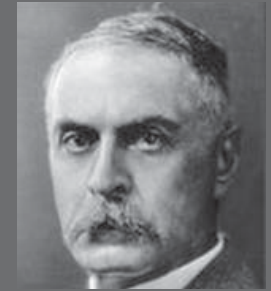
Suryo, Genetika Manusia, hlm. 232 (dengan pengembangan)

d. Kelainan oleh aberasi jumlah dan struktur kromosom autosom

Selain disebabkan oleh adanya gen dominan atau resesif, kelainan dapat disebabkan oleh adanya aberasi atau perubahan jumlah dan struktur kromosom. Aberasi kromosom serta kelainan-kelainannya akan kalian pelajari lebih lanjut pada pada Bab 6 Mutasi.

2. Golongan Darah

Salah satu aplikasi (manfaat) mempelajari golongan darah seseorang adalah untuk transfusi darah. Oleh karena itu, dikenal istilah donor (yang memberikan darah) dan resipien (yang menerima transfusi darah). Begitu pentingnya darah bagi kehidupan manusia, penelitian mendalam tentang darah pun kian banyak dilakukan. Dua komponen penyusun darah adalah sel-sel darah (leukosit dan eritrosit) dan cairan (plasma). Plasma sendiri, terdiri dari atas fibrinogen (protein untuk pembekuan darah) dan serum.



Karl Landsteiner (1868-1943) adalah seorang ahli patologi berdarah Austria-Amerika yang lahir di Wina. Ia mempelajari patologi sejak 1909 hingga 1919 di Universitas Wina. Landsteiner adalah anggota The Rockefeller Institute for Medical Research (sekarang Universitas Rockefeller) di New York City (1922-1939). Klasifikasi modern atas golongan darah yang dibangun oleh Landsteiner membawa ia kepada Hadiah Nobel dalam bidang fisiologi atau pengobatan pada tahun 1930.

Microsoft Encarta Premium 2006

Penelitian mengenai penggolongan darah diawali oleh Dr. Karl Landsteiner pada tahun 1901. Dari hasil penelitiannya, diketahui bahwa di dalam sel darah merah (eritrosit) terdapat suatu substansi asing yaitu **antigen** yang akan bereaksi dengan substansi pada plasma darah yaitu **antibodi** (zat anti). Selanjutnya, penggolongan darah pada manusia ini didasarkan pada antigen (aglutinogen) yang terdapat di dalam eritrosit. Pada materi ini akan dipelajari 3 sistem penggolongan darah, yaitu sistem A, B, O; sistem M, N; dan sistem Rhesus.

a. Sistem A,B,O

Berbeda dengan pewarisan yang telah kalian pelajari sebelumnya, pewarisan golongan darah ini ditentukan oleh adanya **alel ganda** (beberapa alel atau seri alel yang terdapat dalam satu lokus yang sama). Simbol untuk alel tersebut adalah I (berasal dari kata *isoaglutinin*, merupakan protein pada permukaan sel eritrosit). Orang yang mampu membentuk aglutinogen A akan mempunyai alel I^A, yang mampu membentuk aglutinogen B mempunyai alel I^B, dan yang mampu membentuk aglutinogen A dan B mempunyai alel I^A dan I^B. Sementara itu, orang yang tidak mampu membentuk aglutinogen A dan B mempunyai alel resesif i. Golongan darah ditentukan oleh adanya interaksi alel-alel tersebut. Perhatikan Tabel 5.4.

Jika pria bergolongan darah A menikah dengan wanita bergolongan darah B, maka kemungkinan golongan darah anak-anak yang dilahirkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{array}{l}
 \text{P} \quad \quad \quad \text{♀} \quad I^A I^A \quad \times \quad \quad \quad \text{♂} \quad I^B I^B \\
 \quad \quad \quad \quad \text{atau } I^A i \quad \quad \quad \quad \text{atau} \\
 \text{Gamet} \quad I^A \text{ dan } i \quad \quad \quad I^B \text{ dan } i \\
 \text{F1} \quad \quad 25\% I^A I^B \text{ (golongan AB)} \\
 \quad \quad \quad 25\% I^A i \text{ (golongan A)} \\
 \quad \quad \quad 25\% I^B i \text{ (golongan B)} \\
 \quad \quad \quad 25\% ii \text{ (golongan O)}
 \end{array}$$

Tabel 5.4. Penggolongan Darah Sistem A,B,O dan Alelnya

Golongan darah (fenotip)	Antigen dalam eritrosit	Alel dalam kromosom	Genotip
A	A	I ^A	I ^A I ^A atau I ^A i
B	B	I ^B	I ^B I ^B atau I ^B i
AB	A dan B	I ^A dan I ^B	I ^B I ^A
O	-	i	ii

Suryo, Genetika Manusia, hlm. 349

b. Sistem M, N

Penggolongan sistem ini ditemukan oleh Landsteiner dan Lavine, didasarkan pada ada tidaknya antigen M dan N. Jika pada penggolongan darah A, B, AB, dan O terdapat antibodi dalam darah seseorang,

maka pada golongan darah ini darah seseorang tidak mengandung antibodi M atau N. Oleh karena itu, untuk menguji apakah seseorang mempunyai antingen M atau N atau keduanya digunakan antibodi dari kucing. Dengan tidak adanya antingen M atau N dalam darah manusia, maka penggolongan darah dengan sistem ini tidak berpengaruh atau tidak berperan dalam transfusi darah.

Tabel 5.5. Penggolongan Darah Sistem MN dan Alelnya

Golongan darah (fenotip)	Reaksi terhadap antibodi (antisera)		Alel dalam kromosom	Genotip
	Anti-M	Anti-N		
M	+	-	L^M	$L^M L^M$
N	-	+	L^N	$L^N L^N$
MN	+	+	L^M dan L^N	$L^M L^N$

Keterangan: + = aglutinasi, dan - = tidak aglutinasi

c. Sistem Rhesus

Penemuan sistem ini sejak tahun 1940 oleh Landsteiner dan Wiener. Berdasarkan ada tidaknya faktor Rh (Rhesus) dalam eritrosit, golongan darah pada manusia dibedakan menjadi Rh+, yaitu jika mempunyai antigen Rh dan golongan darah Rh -, jika tidak mempunyai antigen Rh. Transfusi atau pencampuran darah dengan sistem Rh berbeda dapat menyebabkan terjadinya penggumpalan akibat ketidaksesuaian Rh yang disebut incompatibilitas rhesus.

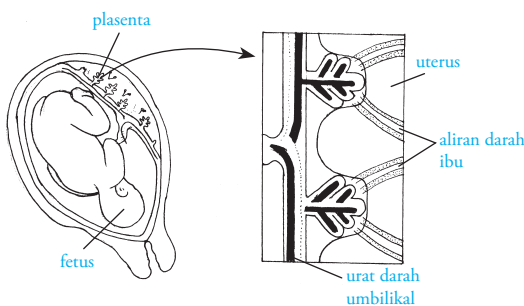
Tabel 5.6. Golongan Darah Sistem Rh

Fenotip	Genotip	Macam gamet
Rh +	$I^{Rh}I^{Rh}$, $I^{Rh}I^{rh}$	I^{Rh} dan I^{rh}
Rh -	$I^{rh}I^{rh}$	I^{rh}

Pada perkawinan antara pria Rh+ homozigot ($I^{Rh}I^{Rh}$) dengan wanita Rh- homozigot ($I^{rh}I^{rh}$), semua anak yang dilahirkan akan mempunyai Rh+. Fetus dalam tubuh ibu akan menerima zat makanan atau menerima per-

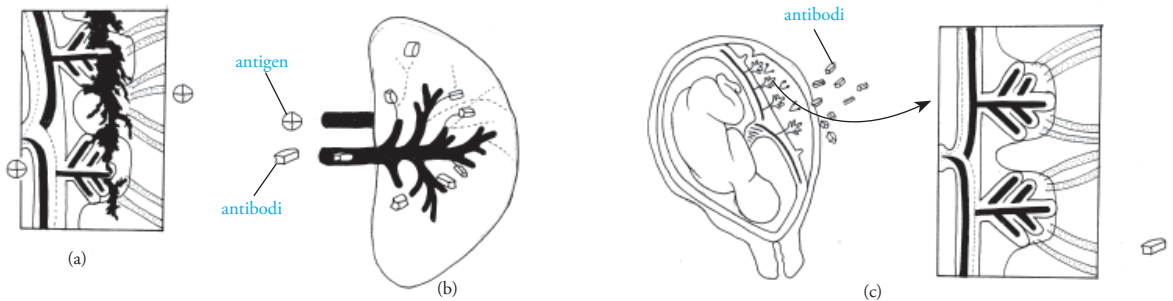
tukaran gas dan air melalui saluran penghubung yang disebut plasenta (Gambar 5.18). Nah, jika seorang ibu Rh- mengandung bayi Rh+ maka setelah bayi lahir, eritrosit-eritrosit bayi yang mengandung antigen Rh masuk dalam aliran darah ibu. Dengan demikian, darah ibu akan membentuk antibodi. Bayi pertama yang dilahirkan akan selamat.

Pada kehamilan berikutnya tentu dihasilkan anak Rh+ lagi, bukan? Karena ibu telah mempunyai anti-Rh, maka akan beraglutinasi dengan antigen Rh pada bayi yang dikandungnya. Akibatnya, eritrosit bayi akan rusak dan mengalami kelebihan zat bilirubin yang akan



Gambar 5.18 Aliran darah pada plasenta

masuk ke dalam sirkulasi darah ibu. (perhatikan Gambar 5.19). Kelebihan dan penimbunan bilirubin tersebut menyebabkan penyakit kuning, ditandai dengan kulit bayi yang kuning, tubuh menggebu-gebu oleh cairan, hati dan limfa membengkak, dalam darah banyak eritrosit yang belum masak (eritroblas), serta otaknya rusak. Penyakit inilah yang disebut **eritroblastosis fetalis**. Pada umumnya, bayi penderita penyakit tersebut akan mati sejak lahir atau hidup beberapa saat saja.



Gambar 5.19 Tahapan terjadinya kelahiran bayi penderita eritroblastosis (a) urat darah plasenta pecah, memungkinkan keluarnya antigen Rh bayi (b) antigen fetus masuk ke limpa ibu dan ibu membentuk antibodi (c) antibodi dari ibu masuk ke plasenta dan terjadi reaksi antigen Rh dan antibodi Rh

Sementara itu, perkawinan antara wanita Rh- dengan pria Rh+ heterozigot masih mempunyai kemungkinan menghasilkan bayi normal.

3. Gen-gen yang Ekspresinya Dipengaruhi oleh Jenis Kelamin

Pewarisan sifat pada manusia dapat dipengaruhi oleh jenis kelamin individu. Artinya, ekspresi gen-gen autosomal penentu sifat pada keturunan tersebut dipengaruhi oleh jenis kelamin keturunan yang dihasilkan. Sifat tersebut dapat tampak pada kedua seks, tetapi ekspresinya akan lebih besar pada salah satu seks tersebut. Beberapa ekspresi gen tersebut antara lain:

a. Kepala botak

Sebelum diketahui adanya ekspresi gen yang dipengaruhi oleh seks, semula kepala botak merupakan gen terangkai kelamin. Namun, pada kenyataannya anak pria kepala botak diturunkan langsung dari ayahnya (hal ini tidak akan terjadi jika gen tersebut terangkai kromosom X). Demikian juga, jika gen tersebut terangkai kromosom Y maka tidak pernah diturunkan pada wanita. Kenyataannya, ada pula wanita yang berkepala botak meskipun sangat jarang dijumpai.

Jika gen B penentu kepala botak dan gen b penentu rambut normal, maka dengan adanya pengaruh jenis kelamin, ekspresi gen tersebut terjadi sedemikian rupa. (Perhatikan Tabel 5.7)

Tabel 5.7. Ekspresi Gen Kepala Botak

Genotip	Pria	Wanita
BB	botak	botak
Bb	botak	tidak botak
bb	tidak botak	tidak botak

Suryo, Genetika Manusia, hlm. 231

b. Jari telunjuk yang panjang

Pada umumnya, setiap orang mempunyai jari telunjuk yang lebih pendek (normal) daripada jari manis. Gen penentu jari telunjuk pendek adalah gen T, sedangkan penentu jari telunjuk panjang adalah gen t. Namun, ekspresinya dipengaruhi oleh jenis kelamin.

Tabel 5.8. Ekspresi Gen Jari Telunjuk Panjang

Genotip	Pria	Wanita
TT	telunjuk pendek	telunjuk pendek
Tt	telunjuk pendek	telunjuk panjang
tt	telunjuk panjang	telunjuk panjang

Suryo, Genetika Manusia, hlm. 232

Selain mempelajari tentang pewarisan sifat, kalian juga perlu mengaplikasikannya dalam kehidupan kalian. Untuk itu, ikutilah rubrik *Percobaan* berikut ini:

Percobaan

Mengenal Mutan

A. Dasar Teori

Ciri-ciri yang dapat diamati pada manusia antara lain: jenis kelamin, kelainan yang tertaut autosom, kelainan yang tertaut kromosom X atau kromosom Y, golongan darah, dan sifat-sifat yang ekspresinya dipengaruhi oleh seks (jenis kelamin). Contoh sifat yang ekspresinya dipengaruhi oleh seks tersebut adalah kepala botak dan jari telunjuk panjang.

B. Tujuan

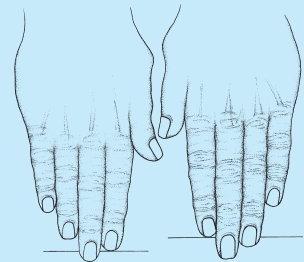
Mencoba menetapkan genotip dirinya sendiri berdasarkan ukuran jari telunjuknya.

C. Alat dan Bahan

1. Alat tulis
2. Penggaris
3. Jari telunjuk dan jari tengah kalian

D. Langkah Percobaan

1. Buatlah sebuah garis horizontal pada kertas kosong.
2. Letakkan salah satu tangan kalian pada kertas tersebut seperti pada gambar di samping.
3. Berikan tanda pada kertas tersebut letak ujung jari telunjuk kalian.
4. Tentukan, apakah jari telunjuk kalian lebih pendek atau lebih panjang daripada jari manis?



E. Pembahasan

1. Dengan menggunakan simbol gen T dan t, bagaimanakah kemungkinan genotip kalian?
2. Umpamakan kalian (baik pria atau wanita) mempunyai jari telunjuk lebih pendek daripada jari manis, menikah dengan pasangan dengan sifat yang sama. Jika semua anak pria kalian mempunyai sifat sama dengan kalian, namun sebagian anak perempuan berjari telunjuk panjang, dan sebagian lagi pendek, maka:
 - a. Bagaimanakah kemungkinan genotip kalian?
 - b. Bagaimanakah kemungkinan genotip suami atau istri kalian? Buktikan.

Dari uraian sebelumnya serta rubrik *Percobaan* yang telah kalian kerjakan, kalian telah mempelajari pewarisan sifat pada manusia, baik sifat yang diharapkan orang tua maupun sifat yang tidak diharapkan. Nah, upaya apa saja yang perlu dilakukan untuk menghindari terjadinya sifat yang tidak diharapkan atau kelainan menurun tersebut? Temukan jawabannya dengan menyimak materi berikut.

4. Upaya Menghindari Kelainan Menurun

Pada umumnya, gen yang menyebabkan kelainan menurun pada manusia sulit untuk dilacak. Oleh karena itu agar pewarisan sifat tersebut dapat dilacak serta dihindari, perlu dilakukan upaya melalui:

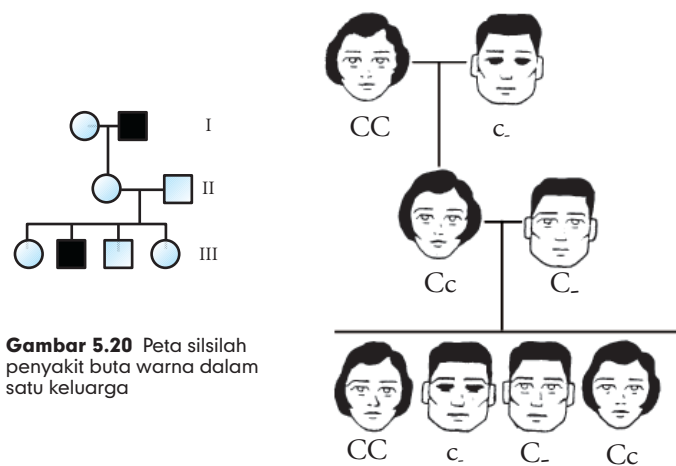
a. Eugenetika

Yaitu upaya perbaikan sosial yang meliputi penerapan (implementasi) hukum-hukum pewarisan sifat, antara lain dengan:

- 1) Menghindari perkawinan dengan keluarga dekat, karena dapat memungkinkan rekombinasi gen-gen resesif yang umumnya menimbulkan ketidaknormalan.
- 2) Harus memahami hukum-hukum hereditas bagi generasi muda.
- 3) Tidak menikahkan orang-orang yang mengalami gangguan mental seperti idiot, imbisil, dan debil.
- 4) Dilakukan pemeriksaan kesehatan dan asal-usul calon pasangan suami-istri. Akan tetapi, pasangan yang sudah menikah dapat melakukan upaya untuk mengetahui lebih awal kondisi kandungannya. Hal ini dapat dilakukan misalnya dengan **amniosentesis**. Amniosentesis merupakan cara untuk mengetes kemungkinan adanya kelainan kromosom pada bayi yang masih dikandung oleh ibu. Waktu yang paling baik untuk melakukan amniosentesis ini adalah pada saat usia kehamilan mencapai 14-16 minggu.
- 5) Memelihara kesehatan fisik dan mental
- 6) Menggunakan peta silsilah

Peta silsilah dapat menunjukkan keadaan atau sifat individu dalam keluarga besar (1 garis keturunan), sehingga dapat dilacak adanya individu yang mewariskan sifat kepada keturunannya.

Berikut ini adalah salah satu contoh bentuk peta silsilah dari satu keluarga yang beberapa anggotanya mengalami buta warna.



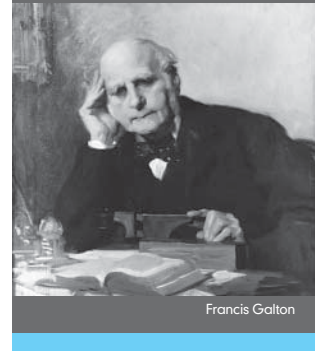
Gambar 5.20 Peta silsilah penyakit buta warna dalam satu keluarga

Galeri

Penemuan Peta Silsilah

Peta silsilah pertama kali ditemukan di Iran (diduga sejak tahun 3000 SM) dan dibuat dari tanah liat. Pada akhir abad ke-19, beberapa analisis tentang peta silsilah pada manusia telah dilakukan oleh **Francis Galton** (1822-1911), perintis ilmu eugenetika, sekaligus keponakan Charles Darwin.

Suryo, Genetika Manusia, hlm. 101



Francis Galton

Microsoft Encarta Premium 2006

Keterangan simbol Peta Silsilah:

- Perempuan normal
- Perempuan buta warna
- Laki-laki normal
- Laki-laki buta warna
- Perkawinan antara laki-laki dan perempuan
- I Generasi pertama
- II Generasi kedua
- III Generasi ketiga
- CC Perempuan normal
- c- Laki-laki buta warna
- Cc Perempuan normal (*Carrier*)
- C- Laki-laki normal

b. Eutenika

Upaya eutenika dilakukan melalui pengelolaan lingkungan seperti pendidikan, peningkatan gizi, perbaikan tempat tinggal, olah raga, dan rekreasi.

Nah, kalian telah banyak mempelajari tentang hereditas pada manusia. Oleh karena itu untuk dapat mengaplikasikan dalam kehidupan kalian, selesaikan tugas di rubrik *Telisik* serta *Uji Kompetensi* berikut.

T e l i s i k

Membuat Peta Silsilah Keluarga

Lakukanlah tugas ini bersama kelompok kalian sebagai tugas di luar kelas. Berikut ini langkah-langkah yang perlu kalian ikuti:

1. Siapkan alat dan bahan seperti kertas berukuran lebar (dapat menggunakan kertas manila atau yang lainnya), spidol atau pensil berwarna, dan penggaris.
2. Pilihlah salah satu dari kelompok kalian yang mempunyai keluarga besar dan di antara anggota keluarganya ada yang mengalami kelainan atau kondisi yang tidak normal atau menyimpang dari anggota keluarga yang lain.

Catatan: Lakukan kegiatan (point kedua) dengan baik dan sopan agar tidak menyinggung perasaan.

3. Buatlah daftar nama dan sifat dari semua anggota keluarga besar tersebut mulai dari generasi paling awal (kakek atau buyut yang masih ada) sampai generasi saat ini.
4. Dengan menggunakan simbol yang umumnya digunakan dalam peta silsilah, buatlah peta silsilah berdasarkan keadaan yang terjadi pada keluarga dari salah satu teman kalian tersebut.
5. Kumpulkan tugas kalian pada guru, kemudian presentasikan hasil peta silsilah yang telah kalian buat dengan menjelaskan siapa saja yang kemungkinan bersifat *carrier*.

Uji Kompetensi

1. Selain jenis kelamin, sebutkan sifat-sifat yang dapat diturunkan pada manusia.
2. Sebutkan macam kelainan menurun oleh alel resesif dan alel dominan autosom.
3. Sebutkan dan jelaskan 2 macam ekspresi gen yang dipengaruhi seks!
4. Apa yang dimaksud dengan *carrier*?
5. Sebutkan ciri-ciri orang yang mengalami gangguan mental.
6. Jelaskan perbedaan antara brakhidaktili dan polidaktili.
7. Sebutkan macam kelainan oleh alel resesif kromosom X dan oleh alel resesif kromosom Y.
8. Apa yang dimaksud dengan *criss-cross inheritance*?
9. Jelaskan bagaimana seseorang dikatakan mempunyai golongan darah A, B, AB, dan O.
10. Jelaskan yang dimaksud dengan *eritroblastosis fetalis*.

I k h t i s a r

1. Pewarisan sifat (karakter) dari induk (orang tua) kepada fillialnya melalui suatu perkawinan melibatkan gen (sebagai faktor pembawa sifat keturunan).
2. Mendel memilih kacang kapri untuk objek kajiannya, karena memiliki pasangan-pasangan yang kontras, melakukan autogami atau penyerbukan sendiri, mudah disilangkan, mampu menghasilkan keturunan banyak, dan cepat menghasilkan atau daur hidupnya pendek.
3. Hukum Mendel I disebut juga Hukum Segregasi, karena menyatakan bahwa pada waktu pembentukan gamet (meiosis), kromosom-kromosom homolognya memisahkan diri secara bebas.
4. Persilangan monohibrida adalah perkawinan dengan satu sifat (karakter) beda yang mencolok.
5. Genotip bersifat menurun dan diwariskan pada keturunan.
6. Fenotip adalah sifat yang tampak dari luar. Fenotip merupakan paduan dari genotip dengan lingkungannya.
7. Hukum Mendel II dikenal sebagai Hukum Asortasi atau Hukum Berpasangan Secara Bebas atau Hukum Penggabungan Bebas.
8. Persilangan dihibrida yaitu persilangan dengan dua sifat beda, dengan dua alel yang berbeda.
9. *Back cross* merupakan persilangan antara anakan F1 yang heterozigot dengan induknya yang homozigot dominan.
10. *Test cross* adalah menyilangkan suatu hasil persilangan dengan salah satu induk homozigot resesif.
11. Penyimpangan semu Hukum Mendel meliputi interaksi gen, kriptomeri, polimeri, epistasis-hipostasis, gen-gen komplementer, gen dominan rangkap, dan atavisme.
12. Kriptomeri yaitu gen dominan yang seolah-olah tersembunyi jika berdiri sendiri dan akan tampak pengaruhnya apabila bersama-sama dengan gen dominan yang lainnya.
13. Polimeri adalah pembastaran heterozigot dengan banyak sifat beda yang berdiri sendiri, tetapi memengaruhi bagian yang sama dari suatu organisme.
14. Sifat atau fenotip yang tadinya menghilang, dapat muncul kembali pada generasi berikutnya, melalui proses yang disebut atavisme.
15. Epistasis adalah faktor (gen) dominan yang menutupi gen dominan lain yang bukan alelnya, sehingga sifat yang dikendalikan gen yang tertutup tidak muncul.
16. Hipostasis adalah faktor (gen) yang tertutupi oleh gen dominan yang lain, yang bukan alelnya.
17. Peristiwa inheritansi baik pada hewan, tumbuhan, maupun manusia akan mengikuti pola-pola hereditas seperti adanya tautan, tautan seks, pindah silang, determinasi seks, adanya gen letal, dan *non-disjunction*.
18. Pindah silang dapat terjadi pada saat meiosis (pembentukan gamet). Pindah silang dapat berupa pindah silang tunggal atau pindah silang ganda. Untuk mengetahui kekuatan pindah silang dihitung nilai pindah silangnya (NPS).
19. Tipe-tipe determinasi seks meliputi tipe XY (pada lalat buah dan manusia), XO (belalang atau Ordo Orthoptera dan kepik atau Ordo Hemiptera), ZO (ayam dan itik), dan ZW (burung, serangga, dan kupu-kupu).
20. Gen letal dibedakan menjadi gen resesif letal (pada jagung albino) dan gen dominan letal (pada ayam redep dan tikus kuning).

21. Gagal berpisah atau *non-disjunction* dapat terjadi pada saat pembentukan gamet (meiosis).
22. Pewarisan sifat pada manusia dapat diturunkan melalui kromosom seks (kromosom X dan kromosom Y) atau kromosom autosom.
23. Sifat-sifat yang dapat diwariskan pada manusia meliputi jenis kelamin, kelainan menurun, golongan darah, dan ekspresi gen-gen yang dipengaruhi oleh seks.
24. Ada tiga macam sistem penggolongan darah, antara lain: sistem A, B, O; sistem MN, dan sistem Rhesus (Rh).
25. Kelainan menurun yang disebabkan oleh alel resesif dan dominan autosom adalah albino, gangguan mental, brakhidaktili, cystinuria, dan polidaktili.
26. Kelainan menurun yang disebabkan oleh alel resesif kromosom X adalah buta warna, anodontia, dan hemofilia.
27. Kelainan menurun yang disebabkan oleh alel resesif kromosom Y adalah *Hypertrichosis*, *Hystrixgravier*, dan *Webtoes*.
28. Pewarisan sifat pada manusia dapat dihindari melalui upaya perbaikan sosial meliputi upaya eugenetika dan eutenika.
29. Peta silsilah dapat menunjukkan keadaan atau sifat individu dalam keluarga besar (1 garis keturunan) sehingga dapat dilacak adanya individu yang mewariskan sifat kepada keturunannya.

Senarai kata

Autosom Kromosom penyusun sel-sel tubuh (sel somatik) selain sel kelamin. Pada manusia terdapat 22 pasang autosom dan sepasang gonosom (kromosom seks)

Antibodi Protein yang diproduksi jika ada benda asing (antigen) yang tidak dikenal masuk ke dalam tubuh (darah)

Galur murni Merupakan keturunan dari suatu pembastaran, yang mempunyai sifat unggul (biasanya homozigot dominan)

Gen intermediet Gen yang pengaruhnya sama kuat dengan alelnya

Gen letal Gen yang dalam keadaan homozigot menyebabkan kematian

Genotip homozigot Hasil peleburan gamet, mempunyai gen yang sama

Genotip heterozigot Hasil peleburan gamet, mempunyai gen yang berbeda

Hibrid Individu atau keturunan hasil persilangan induk dengan susunan gen berbeda

Holandrik Sifat keturunan yang timbul karena pengaruh gen tertaut kromosom Y

Lokus Tempat terdapatnya gen dalam kromosom

Mutan Gen pada individu yang mengalami mutasi

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

1. Persilangan manakah yang akan menghasilkan keturunan dengan rasio fenotip 1 : 1 : 1 : 1?
 - a. $QqRr \times qqRr$
 - b. $QqRr \times QqRr$
 - c. $Qqrr \times qqrr$
 - d. $Qqrr \times qqRr$
 - e. $Qqrr \times qqRR$

2. Seorang ayah kidal bergolongan darah AB menikah dengan wanita heterozigot kanan yang bergolongan darah B. Bila mereka mempunyai anak yang bergolongan darah A, berapa persen kemungkinan turunan mereka yang kidal dapat menjadi donor darah untuk ayahnya?
 - a. 12,5%
 - b. 25%
 - c. 50%
 - d. 75%
 - e. 100%

3. Perhatikanlah sifat-sifat berikut:
 - 1) Tidak memiliki pasangan yang kontras
 - 2) Melakukan penyerbukan sendiri
 - 3) Mudah disilangkan
 - 4) Memiliki keturunan sedikit
 - 5) Daur hidupnya agak panjang
 Yang merupakan alasan Mendel memilih kacang kapri sebagai bahan percobaannya adalah
 - b. 1 & 2
 - c. 2 & 3
 - d. 3 & 4
 - e. 4 & 5
 - f. 1 & 5

4. Berikut yang bukan merupakan hipotesis Mendel, yaitu
 - a. setiap sifat organisme dikendalikan oleh sepasang gen
 - b. individu murni memiliki pasangan sifat dominan atau resesif saja
 - c. pada saat meiosis, pasangan faktor (alel) memisah secara bebas
 - d. Pasangan faktor keturunan resesif menutup faktor yang dominan
 - e. Setiap pasangan keturunan menunjukkan bentuk alternatif sesamanya

5. Berikut ini merupakan ciri-ciri persilangan:
 - 1) Perkawinan dengan satu sifat beda yang menyolok
 - 2) Tiap macam gamet jumlahnya sama banyak
 - 3) Bastarnya akan mensegregasikan pasangan gen pada gamet-gametnya.
 Semua ciri-ciri tersebut, menunjukkan jenis persilangannya
 - a. *test cross*
 - b. dihibrida
 - c. monohibrida
 - d. pautan gen
 - e. epistasis

6. Yang bukan merupakan contoh fenotip adalah
 - a. rambut
 - b. kulit
 - c. selaput pelangi
 - d. gen rambut hitam
 - e. tubuh

7. Persilangan antara suatu hasil persilangan dengan salah satu induknya yang bersifat homozigot resesif disebut dengan
 - a. *test cross*
 - b. *back cross*
 - c. epistasis
 - d. hipostasis
 - e. polimeri

8. Macam-macam penyimpangan Hukum Mendel antara lain:
 - 1) Interaksi gen

- 2) Kriptomeri
- 3) Polimeri
- 4) Atavisme
- 5) Epistasis –hipostasis

Yang memiliki perbandingan 15 : 1 dari hasil persilangan F2 adalah

- a. 1
 - b. 2
 - c. 3
 - d. 4
 - e. 5
9. Keturunan atau hasil pembastaran yang mempunyai sifat sama dengan kedua induknya, dapat disebut
- a. gen-gen komplementer
 - b. epistasis domiann
 - c. galur murni
 - d. interaksi gen
 - e. polimeri
10. Gen yang pengaruhnya sama kuat dengan alelnya disebut
- a. pembastaran
 - b. genotip
 - c. gen dominan
 - d. gen intermediet
 - e. gen resesif
11. Individu-individu berikut diketahui mempunyai tipe-tipe seks tertentu:
- 1) ayam, itik
 - 2) burung
 - 3) beberapa ikan
 - 4) kepik
 - 5) lalat buah
 - 6) salak
 - 7) kupu-kupu
- Yang mempunyai tipe seks ZW adalah
- a. 1, 2, dan 3
 - b. 2, 4, dan 6
 - c. 2, 3, dan 7
 - d. 3, 4, dan 5
 - e. 4, 5, dan 7
12. Dalam sebuah perkawinan, antara ayah bergolongan darah A heterozigot dengan

ibu darah AB, maka akan diperoleh keturunan dengan rasio fenotip

- a. 2 : 1 : 1
- b. 1 : 2
- c. 3 : 1
- d. 4
- e. 1 : 3

13. Jika bunga warna kuning (KKKK) disilangkan dengan bunga warna putih (kkkk), maka dihasilkan keturunan F1 100% heterozigot. Bila F1 heterozigot disilangkan dengan sesamanya, maka akan diperoleh bunga warna kuning sebanyak

- a. 9
- b. 27
- c. 15
- d. 3
- e. 1

14. Seorang gadis kulit hitam berbadan kurus (HHgg) menikah dengan lelaki berkulit putih berbadan gemuk (hhGG). Jika hasil F1 dikawinkan dengan sesama jenisnya, maka dihasilkan keturunan dengan rasio fenotip

- a. 9 : 3 : 1
- b. 9 : 3 : 3
- c. 9 : 7
- d. 15 : 1
- e. 3 : 3 : 1

15. Seorang petani melakukan pembastaran melon bentuk panjang dominan homozigot (PPBB) dengan melon berbentuk bulat resesif homozigot. Keturunan F1 memiliki bentuk panjang dengan persentase sebesar

- a. 100%
- b. 50%
- c. 25%
- d. 12,5%
- e. 0%

16. Dalam sebuah keluarga terdiri dari anak bergolongan darah A, AB, dan O. Jika ayah bergolongan darah A, maka ibunya bergolongan darah

- a. AB

- b. A
 - c. O
 - d. Rhesus positif
 - e. B
17. Jika B (biru) epistasis terhadap M (merah) yang hipostasis. Persilangan dilakukan antara keduanya (NNmm) dan (bbMM). Jika F1nya dibiarkan bersilangan, maka F2 akan menghasilkan rasio fenotip biru, merah, dan ungu dengan perbandingan
- a. 9 : 4 : 3
 - b. 9 : 3 : 4
 - c. 12 : 1 : 3
 - d. 12 : 3 : 1
 - e. 3 : 1 : 12
18. Wanita yang ayahnya buta warna menikah dengan pria normal. Maka, kemungkinan anaknya akan lahir laki-laki buta warna adalah
- a. 12,5 %
 - b. 25 %
 - c. 50 %
 - d. 75 %
 - e. 100 %
19. Pasangan pria buta warna dengan wanita tidak buta warna yang bukan *carrier* dapat menurunkan anak pria
- a. normal dan wanita *carrier*
 - b. normal dan wanita normal
 - c. normal dan wanita tidak *carrier*
 - d. buta warna
 - e. buta warna dan wanita *carrier*
20. Jika seorang wanita normal homozigot menikah dengan pria hemofilia, maka pernyataan berikut yang benar adalah
- a. semua anaknya hemofilia
 - b. 50 % anak perempuannya hemofilia
 - c. 50 % anak perempuannya normal
 - d. 75 % anak laki-laknya hemofilia
 - e. semua anaknya normal

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. Apakah yang kalian ketahui tentang:
 - a. *test cross*
 - b. *back cross*
 - c. homogametik
 - d. heterogametik
 - e. aglutinasi
2. Bila dari sebuah persilangan dihasilkan turunan F1 heterozigot IiRr, maka tentukanlah:
 - a. Simbol dari parental pertama
 - b. Hasil persilangan dari F1 (turunan) dengan sesamanya.
 - c. Perbandingan genotip dan fenotipnya.
3. Dalam sebuah pembastaran bunga tulip ungu, dominan homozigot (UU) dengan tulip warna putih resesif heterozigot (Pp). Jika U epistasis terhadap P, maka:
 - a. Bagaimanakah diagram persilangannya?
 - b. Tuliskan rasio fenotip yang dihasilkan dari persilangan sesama F1.
4. Seorang petani membastarkan mangga buah besar dan biji besar (BBJJ) dengan mangga buah besar dan biji kecil (BBjj).
 - a. Bagaimanakah diagram persilangannya?
 - b. Tuliskan rasio fenotip yang dihasilkan dari persilangan sesama F1.
5. Dalam sebuah perkawinan antara ayah yang botak (BB) dan ibu normal (Bb) maka bagaimanakah kemungkinan fenotip anak laki-laki dan perempuan yang dilahirkan?
6. Buatlah skema pembastaran bunga merah tua dari perkawinan parental betina putih dan jantan merah muda.
7. Jelaskan apa yang akan terjadi jika orang bergolongan darah AB ditransfusikan pada golongan darah O.

8. Tuliskanlah jenis golongan darah ayah dan ibu kalian, kemudian buatlah diagram persilangan keduanya. Bagaimanakah rasio fenotip dan genotipnya?
9. Buatlah skema perkawinan antara wanita dengan pria yang menghasilkan anak dengan perbandingan fenotip:
 - a. Rh+ dan Rh- masing-masing 50%.
 - b. 50% Rh+ homozigot dan 50% Rh+ heterozigot
 - c. 100% Rh+ homozigot
 - d. 100% Rh- homozigot
10. Jelaskan upaya-upaya apa saja yang dilakukan untuk menghindari terjadinya kelainan menurun.

B a b VI

Mutasi



Wolverine is © & TM Marvel Characters Inc. All Rights Reserved.

www.marcsilvestriart.com

Bagi kalian penggemar berat komik Amerika, tentu tak asing lagi dengan sosok pada gambar di atas. Ya, tak salah lagi: Wolverine, sang manusia bercakar, pahlawan tangguh di komik *X-Men*. Komik tersebut diilhami oleh fenomena mutasi, yakni perubahan-perubahan susunan atau jumlah materi genetik yang bersifat menurun antargenerasi. Akibat proses mutasi, para tokohnya memiliki kemampuan-kemampuan luar biasa.

Namun jangan lupa, *X-Men* hanyalah fiksi. Dalam dunia nyata, tentu ketidaknormalan biologis yang terjadi akibat mutasi tak akan sebombastis itu. Nah, ingin mendapat penjelasan lebih lengkap tentang mutasi yang sesungguhnya? Simaklah bab ini.

Kata Kunci

- Mutasi
- Gen
- Kromosom
- DNA
- Mutan
- Mutagen
- Sindrom

Kilas

Pada sub bab sintesis protein, asam amino dikode oleh setiap tiga urutan basa nitrogen yang disebut triplet atau kodon. Selanjutnya, asam amino akan membentuk protein dan akan diekspresikan melalui tahapan tertentu sehingga dapat mempengaruhi ciri atau sifat individu.

Galeri



Hugo de Vries (1848 -1935) adalah seorang botanis dari Belanda. Dia adalah salah satu dari tiga ilmuwan yang meneruskan hukum hereditas Mendel. Vries belajar di Universitas Leiden, dan pada tahun 1878-1918 menjadi profesor botani di Universitas Amsterdam. Karya-karyanya yang terkenal yaitu *Intracellular Pangenesis* (1889), *The Mutation Theory* edisi Jerman (1900-1903) dan edisi Inggris (1910-1911), serta *Plant Breeding* (1907).

hcs.osu.edu

Pada bab berikut ini, kalian akan mempelajari macam-macam mutasi dan penyebabnya, serta dampak mutasi pada sains, lingkungan, teknologi, dan masyarakat (salingtemas).

Tujuan mempelajari materi tersebut adalah agar kalian dapat menjelaskan macam dan penyebab mutasi, mengidentifikasi ragam mutasi kromosom dan gen, dan menjelaskan berbagai mutasi hasil teknologi yang dilakukan manusia. Kalian diharapkan pula dapat menjelaskan dampak mutasi. Baiklah, simak materi berikut dengan saksama.

A. Macam-macam Mutasi dan Penyebabnya

Pewarisan sifat dari induk kepada keturunannya merupakan proses yang terjadi secara kontinu (terus menerus). Meskipun demikian, “kesalahan” dalam pewarisan sifat tersebut dapat saja terjadi sehingga DNA sel anak akan berbeda dengan DNA sel induk.

Sejak awal tahun 1900, mutasi diartikan sebagai perubahan hereditas. Pada tahun 1901, **Hugo de Vries** mengemukakan istilah mutasi pertama kali dalam bukunya *The Theory of Mutation*. Vries menemukan adanya perubahan pada tanaman *Oenothera lamarckina* yang diyakini karena adanya penyimpangan genotip secara tiba-tiba dan diturunkan pada keturunan berikutnya. Selanjutnya, pada tahun 1927, **Herman J. Muller** (ahli genetika) menemukan mutasi pada lalat buah (*Drosophila melanogaster*) oleh pengaruh radiasi sinar X.

Mutasi mengandung dua makna penting, yaitu perubahan materi genetik yang akan diwariskan pada keturunannya, dan bagaimana proses perubahan tersebut terjadi pada suatu organisme. Organisme yang mengalami mutasi dan memperlihatkan fenotip baru hasil mutasi disebut **mutan**.

Mutasi mempunyai beberapa sifat, yaitu muncul secara bebas, bersifat menurun terhadap keturunannya, dan jarang terjadi. Adanya mutasi gen pada individu dapat diketahui.

Mutasi dapat terjadi melalui berbagai cara dan sebab. Berdasarkan **materi hereditas** yang mengalami perubahan, mutasi dibedakan menjadi mutasi gen dan mutasi kromosom.

1. Mutasi Gen

Mutasi gen adalah perubahan susunan basa nitrogen pada nukleotida, disebut juga **mutasi titik** (*point mutation*). Perubahan susunan basa nitrogen pada triplet, menyebabkan berubah pula asam amino yang akan dikode. Demikian pula, jenis atau fungsi protein yang akan dihasilkan.

Gen yang normal maupun gen mutan dapat bersifat dominan maupun resesif. Pada organisme diploid yang heterozigot, fenotip yang akan muncul adalah fenotip dari alel yang dominan, karena alel yang dominan dapat ditranskripsi dan ditranslasi menjadi protein yang berfungsi. Selanjutnya, aktivitas protein tersebut akan terlihat pada fenotipnya. Sementara itu, alel yang resesif tidak dapat ditranskripsikan dan ditranslasikan sebagaimana alel dominan, sehingga fenotipnya tidak tampak.

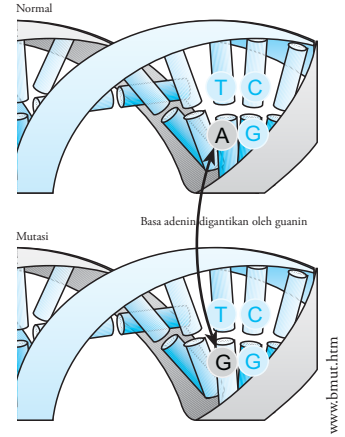
Mutasi gen dapat terjadi melalui berbagai cara, yaitu:

a. Transisi

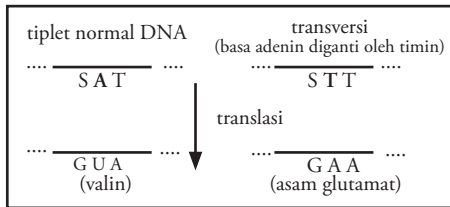
Transisi terjadi apabila basa pirimidin pada rantai nukleotida DNA diganti oleh basa pirimidin yang lain, atau basa purin yang satu diganti oleh basa purin yang lain. Basa pirimidin timin (T) dapat diganti oleh basa sitosin (C atau S), atau sebaliknya. Basa purin adenin (A) dapat diganti oleh basa guanin (G), atau sebaliknya (Gambar 6.1).

b. Transversi

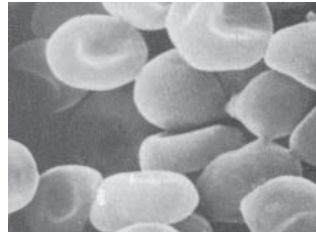
Transversi terjadi apabila basa pirimidin digantikan oleh basa purin, atau sebaliknya. Akibatnya, asam amino yang dihasilkan tidak sesuai dengan pesanannya. Misalnya, asam amino valin digantikan menjadi asam glutamat akan menyebabkan berubahnya asam amino penyusun protein hemoglobin. Hal ini menyebabkan bentuk eritrosit tidak normal, seperti bulan sabit. Kelainan ini disebut **siklemia** (*sickle cell*).



Gambar 6.1 Transisi pada basa nitrogen



Gambar 6.2 Peristiwa transversi



(a)

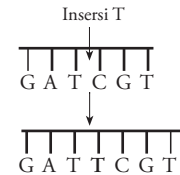


(b)

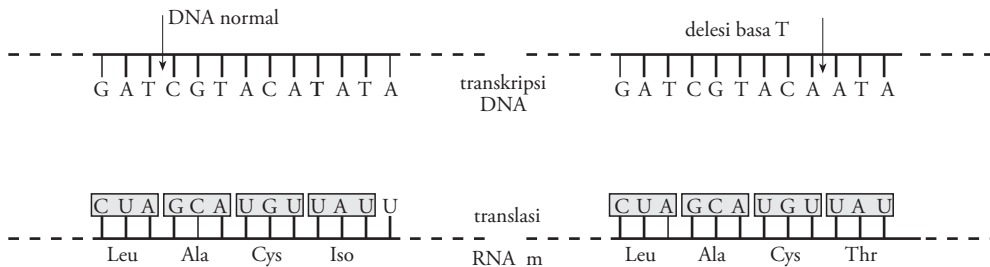
Gambar 6.3
(a) Eritrosit normal
(b) Bentuk sabit

c. Mutasi Frame Shift (Pergeseran Rangka)

Mutasi ini disebabkan oleh penambahan atau pengurangan satu atau lebih nukleotida dalam DNA, biasanya diikuti dengan pergeseran pembacaan kodon yang berakibat berubahnya rangkaian asam amino dalam protein yang dikode oleh gen tersebut. *Frame shift* dibedakan menjadi dua, yaitu **delesi basa tunggal** dan **insersi basa tunggal**. Delesi basa tunggal terjadi bila satu nukleotida keluar atau hilang dari rantai DNA. Insersi basa tunggal terjadi bila suatu pasangan nukleotida menyisip ke dalam rantai DNA.



Gambar 6.4 Delesi basa tunggal

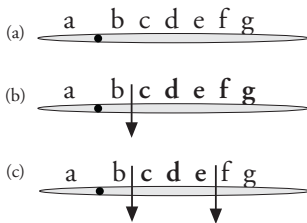


Gambar 6.5 Insersi basa tunggal

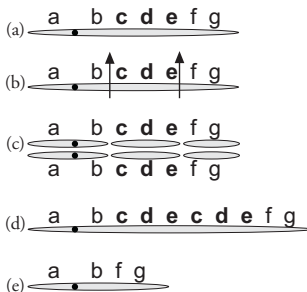
Untuk mengetahui akibat dari mutasi titik, ikuti rubrik *Diskusi* berikut.

Diskusi

Ilustrasi ini merupakan gambaran bagaimana mutasi titik terjadi. Perhatikan dengan seksama kalimat berikut "THE DOG BIT THE CAT". Bersama teman sebangku kalian, coba diskusikan dan jelaskan apa yang akan terjadi ketika salah satu huruf dalam kalimat tersebut berubah menjadi "THE DOG BIT THE CAR"? Sampaikan hasil diskusi yang kalian peroleh dan kemukakan pendapat kalian tentang akibat dari mutasi titik di depan guru dan teman kelas kalian.



Gambar 6.6 (a) kromosom normal, (b) patah di 1 tempat, (c) patah di 2 tempat



- (a) Kromosom normal
- (b) Patah di dua tempat
- (c) Replikasi
- (d) Duplikasi c-e
- (e) Defisiensi c-e

Gambar 6.7 Pembentukan kromosom delesi dan duplikasi.

2. Mutasi Kromosom

Mutasi kromosom disebut juga **aberasi** kromosom atau **mutasi besar** (*gross mutation*), yaitu perubahan struktur atau jumlah kromosom. Mutasi kromosom banyak terjadi pada tanaman.

a. Perubahan struktur kromosom

Beberapa penyebab terjadinya perubahan struktur kromosom, antara lain:

1) Delesi atau Defisiensi

Delesi atau defisiensi merupakan peristiwa hilangnya sebagian kromosom normal karena patahnya kromosom. Potongan kromosom yang tidak memiliki sentromer (**kromosom asentris**), gen-gennya tidak berfungsi selama tahap anafase dan tertinggal pada bidang ekuatorial sel. Semakin lama, potongan kromosom tersebut akan hilang dan larut dalam plasma.

Berdasarkan letak terjadinya patahan kromosom, delesi dibedakan menjadi:

- a) Delesi interkalar, jika terdapat dua patahan di bagian ujung kromosom. Perhatikan Gambar 6.6c.
- b) Delesi terminal, jika terdapat satu patahan di bagian ujung kromosom (Gambar 6.6b). Delesi ini lebih sering dijumpai dibanding delesi interkalar.

Pada manusia, delesi terminal pada pasangan kromosom ke-5 menyebabkan sindrom yang disebut **Cri-du-Chat** di mana suara tangisan-nya mirip dengan suara kucing.

2) Duplikasi

Duplikasi adalah penambahan bagian kromosom pada kromosom normal, sehingga dalam satu kromosom sel terdapat dua atau lebih bagian yang sama. Kromosom normal telah mengadakan replikasi (pembelahan) terlebih dahulu, kemudian mengalami patah di dua tempat. Salah satu patahan kromosom pindah dan menyambung kromosom pasangan replikasinya. Akibatnya, proses duplikasi tersebut disertai dengan terbentuknya kromosom yang mengalami delesi (Gambar 6.7).

3) Inversi

Inversi adalah patahnya kromosom di dua tempat yang diikuti oleh penyisipan kembali gen-gen tetapi dengan urutan yang terbalik. Oleh karena itu, inversi dapat menyebabkan gangguan pada sintesis

protein. Berdasarkan letak dua bagian yang patah pada kromosom, ada dua tipe inversi (Gambar 6.8). yaitu:

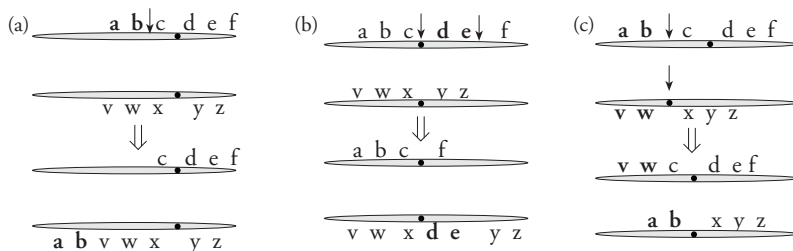
- Inversi parasentris**, terjadi karena dua bagian yang patah terletak pada satu lengan dari sebuah kromosom (tidak dipisahkan oleh sentromer).
- Inversi perisentris**, terjadi karena dua bagian yang patah masing-masing terletak pada lengan kromosom yang berlainan (melewati sentromer, karena sentromer terletak diantara bagian patahan).

4) Translokasi

Translokasi merupakan pindahnya potongan dari sebuah kromosom ke potongan kromosom lain yang bukan homolognya. Ada 3 tipe translokasi, yaitu:

- Translokasi tunggal**, terjadi pematahan tunggal pada satu kromosom, kemudian bagian yang patah (satu tempat) pindah dan bersambungan dengan ujung potongan kromosom lain. Perhatikan Gambar 6.9a.
- Translokasi perpindahan**, yaitu potongan bagian tengah (patah di 2 tempat) dari kromosom disisipkan ke tempat patahnya kromosom lain. Perhatikan Gambar 6.9b.
- Translokasi resiprok**, terjadi satu pematahan pada dua kromosom non homolog, kemudian bagian yang patah saling bertukar. Perhatikan Gambar 6.9c.
- Translokasi Robertson**, yaitu peristiwa mereduksi dan bertambahnya kromosom yang pertama kali diajukan oleh William. R. Robertson. Translokasi Robertson meliputi fusi kromosom dan fisi atau disosiasi kromosom. Fusi kromosom terjadi apabila 2 kromosom non homolog bergabung menjadi satu.

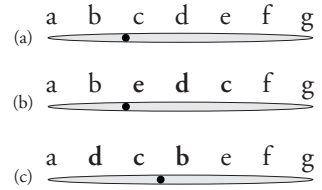
Fisi atau disosiasi kromosom terjadi apabila suatu kromosom membelah menjadi dua.



Gambar 6.9 a) Translokasi tunggal, b) Translokasi perpindahan, dan c) Translokasi resiprok

b. Perubahan jumlah kromosom

Dalam keadaan normal, jumlah kromosom yang dimiliki individu adalah stabil. Akan tetapi, adanya penyimpangan seperti peristiwa *non-disjunction* atau induksi yang sengaja diperlakukan menyebabkan jumlah kromosom dapat berubah. Perubahan jumlah kromosom meliputi:



Gambar 6.8 (a) kromosom normal, (b) inversi parasentris, dan (c) inversi perisentris

Galeri

Mutasi Pada Virus SARS

Beberapa waktu yang lalu, dunia sempat dihebohkan oleh penyakit sindrom pernapasan akut (*Serve Acute Respiratory Syndrome* atau SARS). Penyakit yang pertama kali menyebar di Cina ini, menurut para ahli disebabkan oleh Corona virus.

Corona virus penyebab infeksi saluran pernapasan, menyebar melalui sekresi pernapasan. Virus ini diduga mengalami mutasi sehingga bersifat semakin ganas.

Microsoft Encarta Premium 2006

Tanaman Raksasa

Peristiwa triploid jarang ditemukan pada hewan, kebanyakan ditemukan pada tumbuhan.

Tanaman triploid biasanya tumbuh dalam ukuran ekstra besar dibanding tanaman lain pada umumnya. Triploid seringkali dimanfaatkan dalam bidang pertanian untuk menghasilkan bunga atau buah berukuran besar dan tanpa biji.

Pai, Dasar-dasar Genetika

1) Euploidi

Euploidi merupakan perubahan yang meliputi seperangkat genom, dimana jumlah set kromosom individu merupakan kelipatan dari jumlah set kromosom dasar (kromosom haploid). Artinya, perubahan kromosom menyebabkan berubahnya jumlah set kromosom keseluruhan. Macam-macam euploidi, antara lain:

a) Monoploid

Monoploid merupakan kromosom sel somatis dalam keadaan tunggal atau terdiri dari satu perangkat kromosom saja. Kebanyakan organisme eukariotik bersifat diploid, yaitu memiliki dua perangkat kromosom ($2n$) dalam sel somatisnya. Namun, ada beberapa yang bersifat monoploid. Misalnya, lebah madu jantan yang tumbuh dari sel telur yang tidak dibuahi (**partenogenesis**).

b) Poliploid

Poliploid merupakan keadaan organisme yang memiliki perangkat kromosom lebih dari tiga, misalnya: tetraploid, heksaploid, oktaploid, dan sebagainya. Triploid merupakan keadaan kromosom organisme yang memiliki 3 perangkat kromosom ($3n$) dalam sel somatisnya. Individu triploid bersifat steril. Tetraploid, yaitu bila organisme memiliki 4 perangkat kromosom ($4n$) dalam sel somatisnya. Individu tetraploid biasanya bersifat fertil (subur atau mampu menghasilkan keturunan).

Poliploid banyak ditemukan pada tumbuhan dan jarang ditemukan pada hewan (letal). Biasanya dimanfaatkan dalam bidang pertanian untuk menghasilkan tanaman dengan varietas unggul. Contoh tanaman poliploid adalah $2/3$ dari jenis rumput-rumputan dan tanaman mawar (*Rosa* sp.).

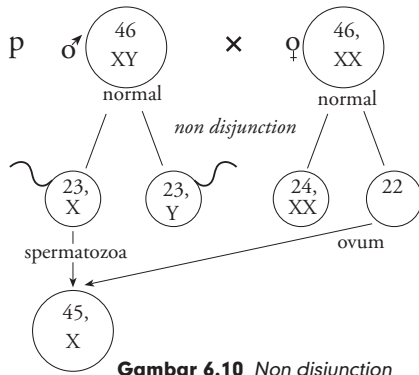
2) Aneuploidi

Aneuploidi adalah perubahan yang terjadi karena suatu individu mempunyai kekurangan atau kelebihan kromosom dibandingkan dengan individu diploid normal. Aneuploidi biasanya diakibatkan karena *nondisjunction* (gagal berpisah) dari satu pasang kromosom homolog. Penghambatan berpisahannya kromosom pada saat pembelahan sel dapat dilakukan dengan sengaja, yaitu melalui: induksi **kolkisin**, dapat menghambat pembentukan spindle pembelahan; menggunakan suhu tinggi, misalnya pada tanaman jagung; dan dapat pula dengan cara pemotongan tunas, sehingga pada potongan tunas terjadi poliploid. Beberapa contoh aneuploidi antara lain:

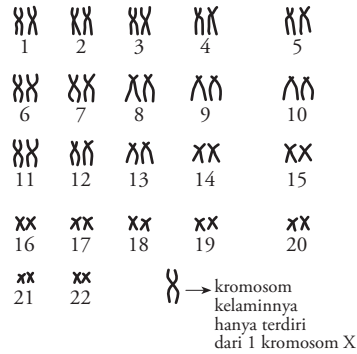
a) Monosomi

Monosomi terjadi pada individu yang kehilangan satu kromosom dalam satu perangkat ($2n-1$). Pada wanita, kehilangan satu kromosom X pada gonosomnya akan menyebabkan **sindrom Turner**. Oleh karena itu, kromosom kelaminnya hanya terdiri dari satu kromosom X saja (XO).

Salah satu kemungkinan penyebab terjadinya sindroma Turner adalah adanya *non disjunction* pada saat pembentukan sel telur (ovum). Akibatnya, dihasilkan satu ovum tanpa kromosom X dan satu ovum yang terdiri dari dua kromosom X (XX). Pertemuan antara sperma (haploid) yang mengandung satu kromosom X dengan ovum tanpa kromosom X, membentuk zigot yang hanya mengandung satu kromosom X saja. Perhatikan Gambar 6.10.



Gambar 6.10 Non disjunction penyebab sindrom Turner



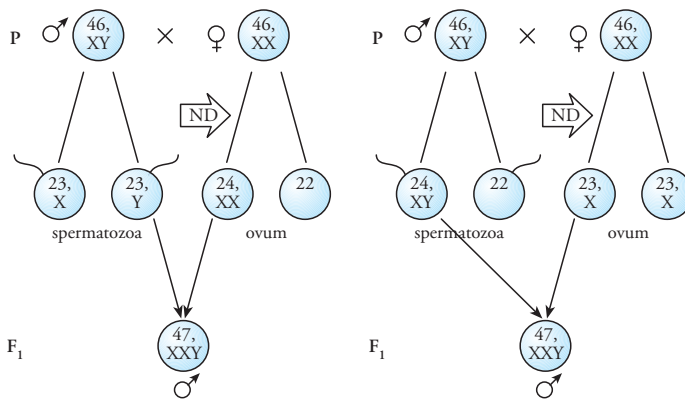
Gambar 6.11 Karyotipe wanita sindrom Turner

b) Trisomi

Trisomi terjadi pada individu yang mempunyai kelebihan satu kromosom dalam sel-selnya ($2n + 1$). Penyebabnya adalah *nondisjunction* pada saat induk mengalami gametogenesis. Trisomi dapat terjadi pada autosom maupun pada gonosom. Beberapa contoh trisomi gonosom pada manusia adalah **sindrom Klinefelter** (trisomi pada kromosom X), **sindrom tripel X**, dan **sindrom XYY** (pria XYY). Sementara itu, beberapa contoh dari trisomi autosom adalah **sindrom Down** (trisomi pada autosom 21), **sindrom Edwards** (trisomi pada autosom 18), **sindrom Patau** (trisomi pada autosom 13).

(1) Sindrom Klinefelter

Individu keturunan penderita sindrom ini dapat terjadi melalui fertilisasi dari sel telur XX oleh spermatozoa Y atau dari sel telur XY oleh spermatozoa XY.



Gambar 6.12 Skema terjadinya sindrom Klinefelter

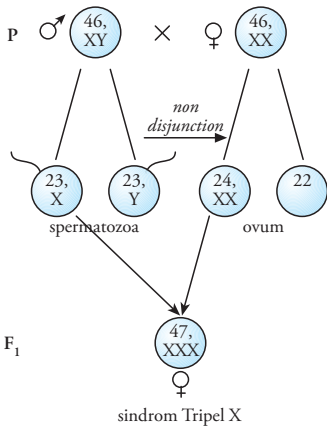
Suryo, Genetika Manusia, hlm. 252

Galeri

Penemuan Down Syndrome Si Wajah Mongol

Kelainan ini pertama kali ditemukan oleh Seguin pada tahun 1844. Namun, tanda-tanda klinis kelainan ini pertama kali dikemukakan oleh seorang dokter dari Inggris, bernama J. Langdon.

Pai, Dasar-dasar Genetika



Gambar 6.13 Skema terjadinya sindrom Tripel X

(2) **Sindrom Tripel X**

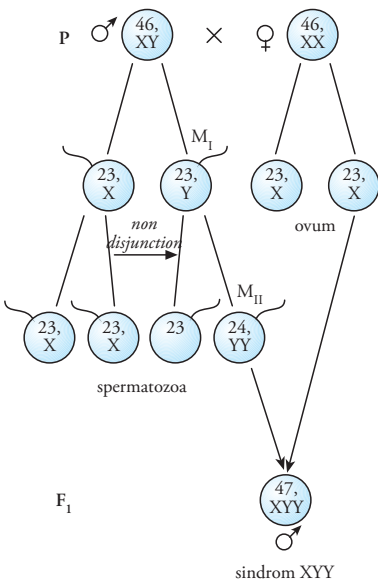
Menurut penelitian Jacobs, pada jaringan ovarium banyak sel-sel ovum yang mengandung kromosom XX. Oleh karena itu, sindrom tripel X terjadi karena adanya gagal berpisah pada pembentukan gamet.

(3) **Sindrom XYY (Pria XYY)**

Individu penderita ini terjadi akibat fertilisasi antara ovum X dengan spermatozoa hasil gagal berpisah (YY). Zigot yang dihasilkan adalah XYY sehingga formulasi kromosomnya adalah 47, XYY. Perhatikan Gambar 6.14.

c) **Nullisomi**

Nullisomi adalah individu yang kehilangan sepasang kromosom homolog (2 kromosom) dalam sel-selnya (2n-2). Biasanya individu dengan sifat nullisomi mempunyai peluang hidup yang sangat kecil.



Gambar 6.14 Skema terjadinya sindrom XYY

Tabel 6.1. Tipe-tipe dan jumlah kromosom pada aneuploidi

Tipe	Jumlah kromosom	Contoh
Disomi (normal)	2n	AA BB CC
Monosomi	2n-1	AA BB C
Nullisomi	2n-2	AA BB
Polisomi:		
a. Trisomi	2n+1	AA BB CCC
b. Dobel trisomi	2n+1+1	AA BBB CCC
c. Tetrasomi	2n+2	AA BB CCCC
d. Pentasomi	2n+3	AA BB CCCCCC

Suryo, Genetika Manusia. hlm 245

d) **Tetrasomi**

Tetrasomi terjadi pada individu yang mempunyai kelebihan 2 kromosom homolog dalam satu genom (2n +2).

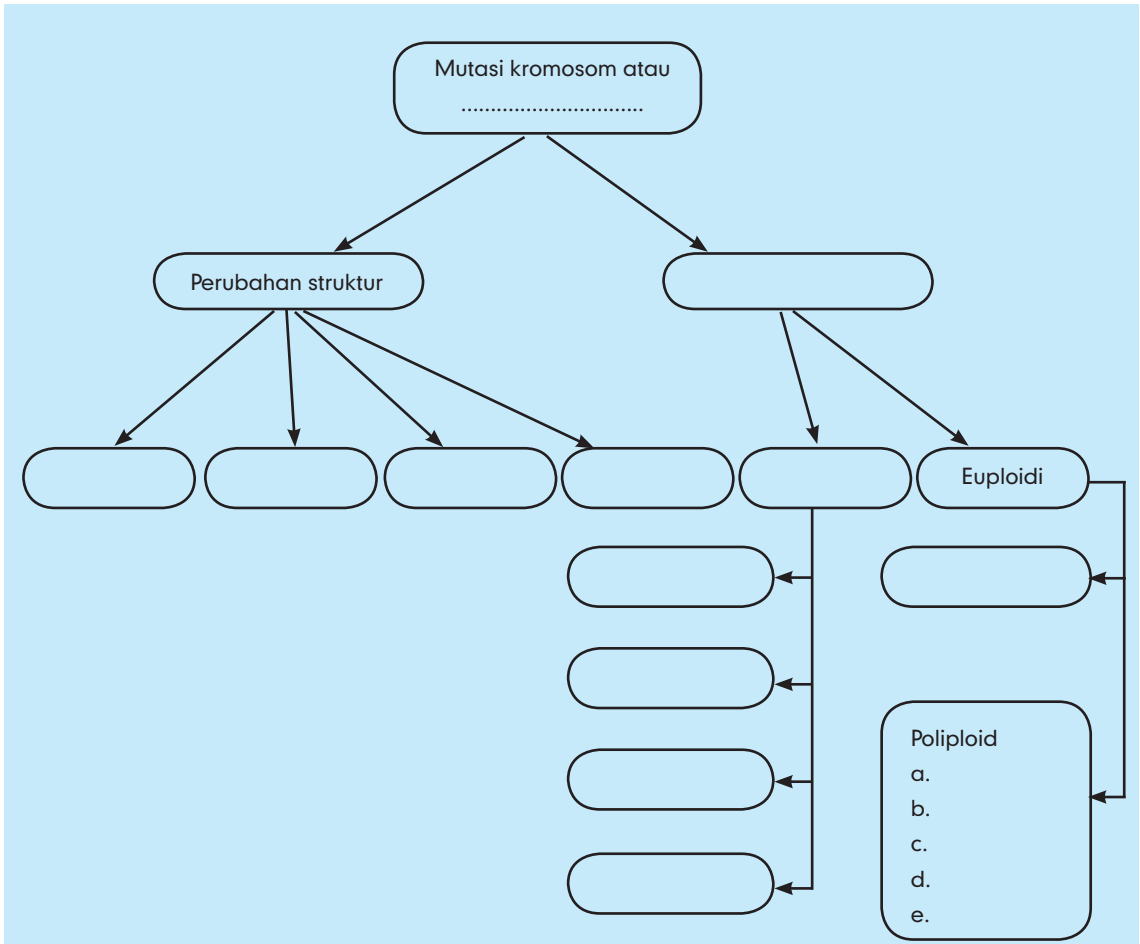
Setelah kalian mempelajari mutasi kromosom, kerjakanlah *Telisik* berikut agar kalian lebih memahaminya.

Telisik

Mengelompokkan Mutasi Kromosom

Buat dan lengkapi bagan yang menunjukkan macam-macam mutasi kromosom, dengan langkah berikut:

- Gunakanlah kertas berwarna dan tinta warna.
- Lengkapi bagan seperti pada contoh dan gunakan catatan atau bagan hasil pekerjaan kalian untuk memudahkan belajar kalian.



3. Presentasikan dan jelaskan maksud bagan yang kalian buat di depan kelas.

Berikut ini, kalian akan mempelajari macam-macam mutasi yang lainnya.

3. Mutasi Somatis dan Mutasi Germinal

Mutasi gen dan mutasi kromosom tentunya terjadi di dalam sel. Oleh karena itu, **berdasarkan jenis sel** yang mengalami mutasi dibedakan menjadi mutasi somatis dan mutasi germinal.

a. Mutasi Somatis

Mutasi somatis adalah mutasi yang terjadi di dalam sel-sel somatis (sel tubuh). Dengan demikian, perubahan pada mutan hasil mutasi somatis hanya akan diturunkan dalam sel somatis saja. Contoh: buah apel *delicious* dan jeruk Washington *navel*.



ccpp.ucr.edu

Gambar 6.15 Jeruk Washington *navel*

b. Mutasi Germinal

Mutasi germinal adalah mutasi yang terjadi di dalam sel-sel kelamin. Bila mutasi menghasilkan sifat dominan, maka akan langsung diekspresikan pada keturunannya. Apabila menghasilkan sifat resesif, maka ekspresinya akan tersembunyi pada individu yang diploid. Contoh: domba Ancon yang berkaki pendek.

Kalian tentunya ingin mengetahui bagaimana cara yang dapat digunakan untuk mengenali mutan, bukan? Untuk itu, lakukanlah tugas di rubrik *Percobaan* berikut.

Percobaan

Mengenali Mutan

A. Dasar Teori

Susunan materi genetik di dalam sel mempengaruhi pewarisan sifat pada individu keturunan. Pewarisan sifat terjadi secara terus-menerus atau bersifat kontinyu. Meskipun demikian, susunan (struktur atau jumlah) materi genetik dapat mengalami perubahan. Peristiwa perubahan susunan atau jumlah pada materi genetik ini disebut mutasi. Organisme yang mengalami mutasi disebut sebagai mutan.

Mutasi menyebabkan fungsi suatu gen menjadi hilang atau berubah dan dapat diamati dari perubahan yang nampak pada fenotip organisme tersebut. Misalnya, apabila salah satu enzim yang berperan dalam sintesis pigmen mata suatu organisme tidak berfungsi, maka pigmen mata tersebut tidak akan dihasilkan. Akibatnya, warna mata akan berubah.

B. Tujuan

Mengenali dan membedakan *Drosophila melanogaster* normal dan mutan

C. Alat dan bahan

1. Beberapa ekor *Drosophila melanogaster*
2. Mikroskop atau lup (kaca pembesar)
3. Botol kaca atau plastik
4. Cawan petri
5. Gunting
6. Kuas lukis kecil
7. Eter (bahan pembius) atau kloroform

D. Langkah Percobaan

1. Celupkan kapas pada eter atau kloroform dan guntinglah kertas berbentuk lingkaran selebar ukuran botol. Buatlah banyak lubang pada kertas tersebut.
2. Masukkan kapas pada botol dan tutuplah dengan kertas yang telah dilubangi.
3. Bius lalat yang akan diamati dengan eter, tetapi jangan sampai mati dengan cara memasukkan lalat buah pada botol dan ditutup.

Catatan: jangan terlalu lama menutup botol agar lalat hanya pingsan dan tidak mati.

4. Bila lalat sudah pingsan, pindahkan ke cawan petri (*reetherizer*)
5. Ambillah lalat dengan kuas dan amati warna tubuh, warna mata, dan bentuk sayap lalat buah dengan mikroskop atau lup.

E. Pembahasan

1. Buatlah tabel perbandingan fenotip lalat tersebut.
2. Manakah yang termasuk lalat normal dan lalat mutan?

4. Mutasi Alami dan Mutasi Buatan

Berdasarkan mekanisme terjadinya, ada dua macam mutasi, yaitu mutasi alami dan mutasi buatan. Untuk lebih jelasnya simak uraian berikut.

Secara umum, mutasi merupakan perubahan pada suatu individu yang berlangsung secara spontan. Namun, dalam kenyataannya, beberapa individu mengalami mutasi karena pengaruh kondisi atau agen-agen tertentu yang terdapat dalam lingkungan. Suatu kondisi atau agen-agen tertentu yang menyebabkan terjadinya mutasi disebut **mutagen**.

a. Mutasi alami

Mutasi alami disebut juga **mutasi spontan** (*spontaneous mutation*), terjadi dengan sendirinya tanpa diketahui penyebabnya secara pasti. Para ahli genetika meyakini adanya beberapa penyebab mutasi alami pada suatu organisme, antara lain:

- 1) Radiasi sinar ultraviolet
- 2) Radiasi sinar kosmik dari angkasa
- 3) Zat-zat radioaktif yang masuk ke dalam tubuh
- 4) Kesalahan pada proses replikasi DNA

b. Mutasi Buatan

Mutasi buatan disebut juga **mutasi terinduksi** (*induced mutation*), yaitu terjadinya mutasi karena disengaja oleh manusia. Mutagen yang digunakan pada mutasi buatan ini, yaitu: senyawa kimia yang dapat bereaksi dengan molekul DNA, radiasi sinar ultraviolet, radiasi mengion oleh sinar χ , sinar α , sinar β , dan sinar γ yang dipancarkan oleh isotop radioaktif dari elemen tertentu, serta penyisipan molekul DNA (**rekayasa genetika**).

Nah, untuk mengetahui bagaimana mutagen-mutagen tersebut dapat menyebabkan mutasi pada suatu organisme, simak uraian berikut.

1) Senyawa kimia

Beberapa senyawa kimia yang telah diketahui mempunyai pengaruh cukup besar sebagai mutagen, antara lain:

a) Berbagai macam basa dan turunannya

Berbagai macam basa dan turunannya dapat bergabung dengan molekul DNA pada saat proses replikasi berlangsung. Beberapa jenis di antaranya dapat meningkatkan frekuensi kesalahan penyusunan substansi DNA yang menyebabkan terjadinya mutasi, seperti: 5-bromo urasil yang dapat menyebabkan terjadinya transisi.

b) Asam nitrat (HNO_2)

Asam nitrat merupakan mutagen yang berpengaruh, baik secara langsung maupun tidak langsung pada proses replikasi maupun non-replikasi DNA. Pengaruhnya terjadi melalui proses **deaminasi oksidatif**, yaitu lepasnya gugus amin (NH_2) dari basa nitrogen penyusun

asam amino (adenin, sitosin, timin, dan guanin). Selain itu, HNO_2 mudah bereaksi dengan adenin sehingga akan menghasilkan senyawa yang disebut **hypoxantin**.

c) Senyawa alkil dan hidroksi

Beberapa contoh senyawa alkil dan hidroksil seperti nitrogen, mustard belerang, metal, nitrosoguanidin, dan etil metansulfonat (MMS dan EMS) dapat menyebabkan terjadinya mutasi *frame shift*.

Sebelum kalian mengetahui macam mutagen yang lain, ikutilah rubrik *Diskusi* berikut.

Diskusi

Menurut kalian, adakah senyawa-senyawa kimia lain yang berfungsi sebagai mutagen? Jika ada sebutkan. Kalian dapat melakukan survei ke beberapa situs ilmiah di internet. Diskusikanlah hasil pencarian tersebut dengan teman kalian.

Galeri

Xeroderma Pigmentosum Penyakit Kutukan dari Langit

Xeroderma pigmentosum (XP) merupakan nama penyakit yang menjadi momok paling menakutkan sebagian besar orang Eropa yang notabene berkulit putih.

Penderita tersebut mempunyai kelainan tidak dapat memindah potongan DNA, terutama timin, karena rusak oleh radiasi UV. Beberapa penderitanya mengalami bercak-bercak hitam pada kulit di seluruh tubuhnya. Bahkan, seorang anak di USA yang menderita penyakit ini, harus tinggal diruangan yang gelap. Kulitnya sangat sensitif apa bila terkena sinar matahari. Apabila sinar matahari mengenai kulitnya, maka akan memicu tumbuhnya tumor-tumor baru.

id.wikipedia.org

2) Radiasi sinar ultraviolet

Semua telah mengakui bahwa matahari merupakan sumber energi bagi seluruh kehidupan. Tetapi, tahukah kalian dibalik kegunaannya itu? Sinar matahari ternyata menyimpan bahaya yang sangat menakutkan. Selain mengakibatkan mutasi alami, radiasi sinar UV dapat menyebabkan mutasi buatan.

Radiasi sinar UV yang berasal dari pancaran sinar matahari merupakan mutagen yang kurang reaktif dan hanya dapat diabsorpsi oleh substansi DNA tertentu, seperti pirin dan pirimidin (terutama timin). Karena energinya yang relatif lemah, maka radiasi sinar UV hanya dapat menembus jaringan tertentu saja, terutama jaringan-jaringan yang berada di bagian permukaan seperti jaringan kulit (integumen). Meskipun energinya relatif rendah, tetapi radiasi sinar UV merupakan mutagen yang potensial. Radiasi sinar UV secara terus menerus dalam jangka waktu tertentu dapat menyebabkan kanker kulit (**Xeroderma**).

3) Radiasi mengion

Beberapa mutagen yang sangat reaktif, berasal dari spektrum elektromagnetik. Spektrum tersebut terdiri dari sinar-sinar dengan panjang gelombang yang sangat pendek (di bawah $0,1 \mu\text{m}$). Contohnya: sinar χ , sinar α , sinar β , dan sinar γ . Sinar-sinar tersebut juga berenergi cukup tinggi dibandingkan energi sinar UV. Oleh karena itu, sinar-sinar tersebut mampu menembus jaringan tubuh lebih dalam dibanding sinar UV. Radiasi mengion oleh sinar-sinar dengan gelombang pendek, terbukti dapat menyebabkan mutasi. Berdasarkan hasil penelitian H. J. Muller terhadap *Drosophila melanogaster*, beberapa perlakuan menggunakan radiasi sinar X dapat menyebabkan kematian (letal) pada *Drosophila melanogaster*.

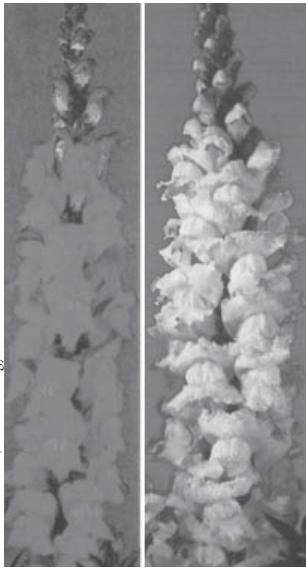
4) Penyisipan molekul DNA (Rekayasa genetika)

Beberapa mekanisme untuk menyusun atau merombak molekul DNA (termasuk mutasi buatan), biasanya diterapkan pada organisme

Uji Kompetensi

Kerjakanlah soal-soal berikut ini.

1. Kapan istilah mutasi mulai digunakan dalam ilmu genetika? Jelaskan.
2. Apakah perbedaan antara mutasi gen dan mutasi kromosom?
3. Sebutkan dan jelaskan macam mutasi berdasarkan jenis sel yang mengalami mutasi dan berdasarkan efek yang ditimbulkan.
4. Sebutkan dan jelaskan macam-macam mutasi gen.
5. Sebutkan macam-macam aneuploidi.



(a) (b)

Gambar 6.17 (a) bunga snapdragon diploid dan (b) bunga snapdragon tetraploid

Mc Laren & Lissa, Heath Biology, hlm. 182

B. Dampak Mutasi pada Salingtemas (Sains, Lingkungan, Teknologi, dan Masyarakat)

Mutasi merupakan penyebab adanya variasi genetik. Mutasi mempunyai dampak terhadap sains, lingkungan, teknologi, dan masyarakat atau manusia (salingtemas). Tidak selamanya, mutasi membawa dampak yang menguntungkan dalam kehidupan. Mutasi dapat pula mempunyai dampak yang merugikan.

1. Dampak Positif Mutasi Buatan dan Mutasi Alami

Sebagian besar peristiwa mutasi yang terjadi di alam ini adalah mutasi buatan, karena mutasi alami merupakan peristiwa yang sangat jarang terjadi. Dewasa ini, mutasi buatan telah banyak diterapkan dalam berbagai bidang kehidupan, terutama yang berkaitan dengan rekayasa genetika dan penggunaan beberapa sinar bergelombang pendek. Mutasi buatan dinilai lebih memberikan keuntungan dibanding mutasi alami. Hal ini disebabkan, mutasi buatan merupakan kejadian yang dapat direncanakan dan diprogram sebelumnya. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh sesuai dengan yang diinginkan dan berbagai kemungkinan yang tidak diharapkan dapat diminimalkan.

Adanya peristiwa mutasi menyebabkan dilakukannya penelitian lebih lanjut. Akibatnya, ilmu pengetahuan dan teknologi semakin berkembang. Beberapa keuntungan dan hasil teknologi mutasi, yaitu:

a. Tanaman Poliploid

Selain buah tanpa biji, hasil mutasi buatan pada tumbuhan adalah tanaman poliploid. Pada umumnya, tanaman poliploid berukuran lebih besar (buah atau bunganya) dan lebih sehat. Misalnya, pada tanaman padi, gandum, bunga lili, bunga “*snapdragon*” (Gambar 6.17), dan kentang.

b. Keragaman Fenotip Tanaman

Pada umumnya, mutasi buatan sangat penting bagi kehidupan di bumi. Salah satunya adalah semakin beranekaragamnya fenotip tanaman, melalui budidaya tanaman. Misalnya semangka tanpa biji (Gambar 6.18).

Nah, untuk lebih memahami adanya keuntungan dari mutasi buatan, lakukanlah rubrik *Telisik* berikut ini.



Gambar 6.18 Semangka tanpa biji merupakan salah satu keragaman fenotip.

www.malaysia.or.kr

Mencari Informasi Tanaman Hasil Mutasi Buatan

Untuk menambah informasi dan pengetahuan terkini tentang tanaman budidaya hasil pengembangan mutasi buatan, kalian dapat melakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Siapkanlah alat tulis dan bila perlu bawalah alat pemotret.
2. Kunjungilah salah satu produsen tanaman hias di sekitar daerah tempat tinggalmu.
3. Carilah informasi kepada produsen tersebut, tentang: jenis-jenis tanaman yang dijual (diproduksi), adakah tanaman jenis baru hasil budidaya, dan bagaimana cara menghasilkan tanaman jenis baru tersebut. Apakah mereka melakukan teknik mutasi buatan dalam mengembangkan tanaman budidaya mereka?
4. Bawalah gambar atau foto yang kalian peroleh. Laporkan dan presentasikan hasil survei kalian di depan teman dan guru kalian.

c. Varian Baru

Mutasi alami dapat menghasilkan individu yang mempunyai sifat atau fenotip berbeda dengan anggota spesies yang sama, namun tetap mempunyai kondisi yang sehat. Misalnya, pada jenis ikan tertentu dan landak yang tidak berpigmen (albino) sehingga warna tubuhnya berbeda dengan warna tubuh anggota spesies yang normal.

d. Pengembangan Bioteknologi

Salah satu upaya pengembangan bioteknologi adalah rekayasa genetika, yaitu melalui penyisipan molekul DNA ke dalam sel. Mekanisme rekayasa genetika dan produk yang dihasilkan akan dibahas lebih lanjut pada bab bioteknologi.

2. Dampak Negatif Mutasi

Kalian tentunya masih ingat, bahwa mutasi yang terjadi pada suatu organisme dapat mengubah bahkan merusak susunan DNA. Mutasi yang terjadi secara alami seringkali merugikan, baik bagi organisme yang menjadi mutan maupun lingkungan sekitar yang ikut terpengaruh karena munculnya organisme baru.

a. Kematian Mutan (Letal)

Mutasi alami lebih berbahaya karena organisme mutan dapat mengalami kematian. Hal ini tidak dapat dicegah, karena mutasi alami terjadi secara tiba-tiba dan acak. Artinya, apabila mutasi terjadi pada suatu spesies maka tidak semua organisme dalam satu spesies tersebut ikut mengalami perubahan, melainkan hanya salah satu atau beberapa organisme saja. Peristiwa mutasi pada tingkat spesies seringkali memunculkan varian baru dalam suatu spesies. Oleh karena itu, beberapa ahli beranggapan bahwa mutasi merupakan sumber adanya evolusi (evolusi akan dibahas pada bab berikutnya).



Gambar 6.19 Landak albino hasil mutasi

Day, Genetika, hlm. 33

b. Kelainan, Cacat, atau Sindrom

Mutasi buatan melalui radiasi dapat pula memunculkan sifat-sifat yang tidak menguntungkan, misalnya menyebabkan mutan cacat sejak lahir (teratogen). Kalian telah mengetahui sebelumnya, bahwa domba berkaki pendek dapat dihasilkan melalui mutasi germinal. Demikian juga pada manusia, mutasi alami menyebabkan adanya kelainan atau sindrom yang merugikan.



Gambar 6.20 (a) penderita sindrom down dan (b) penderita Klinefelter

Tabel 6.2. Sindrom pada Manusia Akibat Perubahan Kromosom

No.	Perubahan kromosom	Formula kromosom	Sindrom	Ciri-ciri
1	Aneuploidi Monosomi	45,XO	Turner	Tubuh pendek, dada lebar, pinggul sempit, ciri seks sekunder (payudara) tidak berkembang, tingkat intelegensi (IQ) rendah, hormon-hormon reproduksi berkurang. Wanita penderita ini bersifat mandul (steril), artinya tidak mampu menghasilkan keturunan.
2	Trisomi autosom a. trisomi 21	47, +21	Down	Cacat mental dengan adanya lipatan pada kelopak mata (epikantus) yang menyerupai kelopak mata orang mongol, tingkat IQnya (intelegensi) rendah (25-75) dan umumnya IQ < 40.
	b. trisomi 13	47, +13	Patau	Cacat mental, mata kecil, kelainan otak, jantung, ginjal, dan usus, serta rusaknya tangan dan kaki.
	c. trisomi 18	47, +18	Edward	Cacat mental, abnormalitas pada telinga, rahang bawah, mulut kecil, dan ginjal ganda. Pada usia 6 bulan, penderita mengalami kematian.

3	Trisomi gonosom	47,XXY	Klinefelter	Pada pria, dada sempit, pinggul lebar, seks sekunder (kumis dan jenggot) tidak berkembang, testis mengecil, bersifat steril (mandul), dan intelegensi rendah. Organ reproduksi dan ciri seks sekunder tidak berkembang, menstruasi sangat tidak teratur, intelegensi rendah, dan bersifat fertil (subur atau dapat menghasilkan keturunan). Tubuh relatif tinggi dan sejak anak-anak sudah menunjukkan sifat yang lebih agresif daripada laki-laki normal. Pria XYY merasa senang jika orang lain disakitinya.
		48,XXXY		
		49,XXXXY		
		47,XXX	Tripel X (wanita super)	
		47,XYY	Pria XYY	
4	Delesi	46,XY,5p ₋	Pria cri du chat	Gangguan mental, muka lebar, hidung mirip pelana, letak kedua mata saling berjauhan, dan IQ rendah (20-40).
		46,XX,5p ₋	Wanita cri du chat	

Suryo, Genetika Manusia, hlm. 251 (dengan Pengembangan).

Setelah kalian mengetahui adanya kelainan atau sindrom pada manusia akibat mutasi alami, lakukanlah rubrik *Diskusi* berikut ini.

Diskusi

Bagaimanakah sebaiknya kalian bersikap terhadap penderita sindrom akibat mutasi? Diskusikan argumen kalian bersama kelompok kalian dan presentasikan di depan kelas.

c. Membahayakan lingkungan

Meskipun mempunyai sifat-sifat yang unggul, tanaman hasil pengembangan mutasi buatan tidak selamanya menguntungkan bagi lingkungan. Misalnya, tanaman padi hasil mutasi buatan melalui penyisipan DNA atau gen dapat tumbuh dengan baik, resisten (tahan) terhadap gulma, herbisida, atau serangga pengganggu. Akan tetapi, beberapa ahli mengatakan, bahwa gen-gen pembentuk sifat unggul tanaman tersebut dapat berpindah pada tanaman gulma. Akibatnya, gulma menjadi bersifat unggul atau tumbuh subur dan akan memenuhi lahan, serta sulit untuk dibasmi.

Nah, untuk memahami bagaimana dampak mutasi terhadap lingkungan, diskusikanlah permasalahan berikut.

Diskusi

Bersama teman sebangku kalian, diskusikanlah apakah mutasi dapat menghasilkan spesies baru? Apakah yang akan terjadi apabila setiap mutasi menghasilkan spesies baru? Adakah dampaknya bagi kelangsungan hidup suatu spesies?

Selanjutnya, untuk menguji pemahaman kalian tentang dampak mutasi, ikutilah rubrik *Uji Kompetensi* berikut.

Uji Kompetensi

Kerjakanlah soal-soal berikut ini.

1. Mengapa mutasi buatan dianggap lebih menguntungkan dibandingkan mutasi alami? Berikan pendapat kalian.
2. Sebutkan dampak negatif dan positif dari mutasi alami.
3. Sebutkan dampak negatif dan positif dari mutasi buatan.
4. Jelaskan dampak mutasi alami pada manusia? Berikan contohnya.
5. Berikan contoh-contoh tanaman poliploid hasil mutasi buatan.

Ikhtisar

1. Mutasi adalah peristiwa perubahan susunan materi genetik (gen atau kromosom) pada suatu organisme dan sifat yang dihasilkan akan diturunkan dari satu generasi ke generasi berikutnya.
2. Mutasi dapat dibedakan berdasarkan materi hereditasnya (mutasi gen dan mutasi kromosom), berdasarkan jenis selnya (mutasi somatis dan mutasi germinal), berdasarkan mekanisme terjadinya (mutasi alami dan mutasi buatan), dan berdasarkan efek atau pengaruh yang ditimbulkan (mutasi missense, non sense, mutasi netral, dan diam).
3. Mutasi gen adalah mutasi yang terjadi perubahan satu atau beberapa nukleotida di dalam gen, terdiri atas: transisi, transversi, dan mutasi *frame shift*.
4. Mutasi kromosom adalah mutasi yang terjadi karena perubahan struktur kromosom dan jumlah kromosom.
5. Mutasi yang terjadi akibat perubahan struktur kromosom, yaitu delesi (delesi terminal dan interkalar), duplikasi, inversi (inversi parasentris dan perisentris), serta translokasi (translokasi tunggal, perpindahan, resiprok, dan Robertson).
6. Translokasi Robertson, terdiri atas: fisi, yaitu bergabungnya dua kromosom homolog menjadi satu, dan fusi (disebut juga disosiasi kromosom) yang terjadi apabila suatu kromosom membelah menjadi dua.
7. Mutasi kromosom yang terjadi akibat perubahan jumlah kromosom, meliputi: euploidi dan aneuploidi.
8. Euploidi adalah perubahan yang meliputi seperangkat genom, dimana jumlah set kromosom individu merupakan kelipatan dari jumlah set kromosom dasar (kromosom haploid) yang terdiri atas monoploid ($1n$) dan poliploid yang terdiri dari triploid ($3n$), tetraploid ($4n$), dan seterusnya.
9. Aneuploidi adalah perubahan dimana suatu individu mempunyai kekurangan atau kelebihan kromosom dibandingkan dengan individu diploid normal. Aneuploidi biasanya diakibatkan oleh adanya *nondisjunction* dari satu pasang kromosom homolog dan terdiri atas: nullisomi ($2n-2$), monosomi ($2n-1$), trisomi ($2n+1$), dan tetrasomi ($2n+2$).
10. Mutasi somatik adalah mutasi yang terjadi di dalam sel-sel somatik (sel-sel tubuh) dan hanya akan diteruskan dalam sel tubuh saja.
11. Mutasi germinal adalah mutasi yang terjadi di dalam sel-sel gamet. Jika hasilnya berupa sifat dominan akan langsung diekspresikan pada keturunan berikutnya. Jika berupa sifat resesif, pada individu yang diploid akan tertutup.

12. Mutasi alami atau mutasi spontan (*spontaneous mutation*), terjadi dengan sendirinya tanpa diketahui penyebabnya secara pasti.
13. Mutasi buatan atau mutasi terinduksi (*induced mutation*), adalah mutasi yang disebabkan oleh mutagen, seperti senyawa kimia (berbagai macam basa dan turunannya, asam nitrat atau HNO_2 , senyawa alkil dan hidroksi), radiasi sinar ultraviolet, radiasi mengion, dan penyisipan molekul DNA (Rekayasa genetika).
14. Mutasi yang terjadi secara alami seringkali merugikan, baik bagi organisme yang menjadi mutan maupun lingkungan sekitar yang ikut terpengaruh karena munculnya organisme baru.
15. Mutasi buatan dinilai lebih memberikan keuntungan dibanding mutasi alami, karena mutasi buatan merupakan kejadian yang dapat direncanakan dan diprogram sebelumnya. Hasil yang diperoleh sesuai dengan yang diinginkan dan berbagai kemungkinan yang tidak diharapkan dapat diminimalkan.
16. Dampak positif dari mutasi buatan dan mutasi alami yaitu dihasilkannya tanaman poliploid, aneka ragam fenotip tanaman, varian baru, dan pengembangan bioteknologi.
17. Dampak negatif dari mutasi yaitu menyebabkan kematian mutan (*letal*), kelainan, cacat, atau sindrom, dan dapat membahayakan lingkungan. perkembangan

Senarai kata

Alel Anggota dari pasangan gen

Aneuploidi Perubahan dimana suatu individu mempunyai kekurangan atau kelebihan kromosom dibandingkan individu diploid normal

DNA Asam deoxiribonukleat atau *Deoxiribo Nucleic Acid*, pembawa materi sifat pada individu

Euploidi Perubahan yang meliputi seperangkat genom, dimana jumlah set kromosom individu merupakan kelipatan dari jumlah set kromosom dasar (kromosom haploid)

Frame shift Salah satu bentuk mutasi titik, disebabkan oleh penambahan atau pengurangan nukleotida (basa nitrogen) dalam DNA

Germinal Sifat yang berhubungan dengan sel kelamin (bukan sel tubuh atau sel somatis)

Mutagen Kondisi atau benda penyebab terjadinya mutasi

Mutan Organisme yang mengalami mutasi dan memperlihatkan fenotip baru hasil mutasi

Nondisjunction Peristiwa gagal berpisah, dimana kromosom mengalami kelainan pada proses replikasi yang mengakibatkan terjadinya mutasi

Sentromer Bagian tengah dari kromosom dan merupakan tempat melekatnya benang-benang spindle

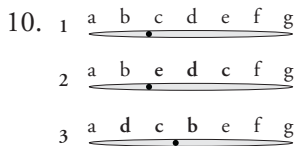
Sindrom Kelainan genetik akibat mutasi dan bersifat menurun

Somatis Sel-sel tubuh (bersifat diploid)

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

- Peristiwa yang mempunyai hubungan paling erat dengan mutasi adalah
 - respirasi
 - ekologi
 - evolusi
 - diferensiasi
 - regulasi
- Mutasi seringkali diartikan sebagai peristiwa
 - berpindahnya satu substansi DNA dari satu kromosom ke kromosom lain
 - berubahnya DNA sel anak yang terjadi secara tiba-tiba dan diwariskan ke generasi berikutnya
 - rusaknya susunan DNA karena radiasi sinar X
 - berubahnya susunan basa dalam DNA
 - kemampuan suatu organisme untuk bertahan hidup
- Berdasarkan materi hereditas yang dikenainya, mutasi dibedakan menjadi
 - mutasi gen dan mutasi kromosom
 - mutasi somatis dan mutasi germinal
 - mutasi missense dan mutasi non sense
 - mutasi gen dan mutasi frame shift
 - mutasi kromosom dan mutasi titik
- Berubahnya susunan basa akibat basa pirimidin digantikan oleh basa purin atau sebaliknya, disebut
 - transfusi
 - transisi
 - transversi
 - translokasi
 - inversi
- Berikut ini merupakan cara-cara terjadinya mutasi:
 - Duplikasi
 - Transisi
 - Inversi
 - Transversi
 - Delesi basa tunggal yang termasuk cara-cara terjadinya mutasi gen adalah
 - 1,2,3
 - 1,3,5
 - 2,3,4
 - 2,4,5
 - 1,3,4
- Organisme yang mengalami perubahan akibat mutasi, disebut
 - mutagen
 - mutan
 - aneuploidi
 - anisogami
 - nullisomi
- Salah satu contoh mutasi kromosom adalah delesi, yaitu
 - hilangnya sebagian (segmen) kromosom karena patah
 - bertambahnya materi kromosom pada kromosom normal
 - hilangnya sentromer kromosom
 - berkurangnya jumlah kromosom
 - terulangnya susunan gen pada bagian kromosom yang lain
- Delesi yang diakibatkan oleh terjadi 2 patahan di bagian tengah kromosom, disebut
 - delesi parasentris
 - delesi terminal
 - delesi perisentris
 - delesi termosentris
 - delesi interkalar
- Perhatikan macam-macam peristiwa berikut
 - (1) Delesi
 - (2) Duplikasi
 - (3) Induksi
 - (4) Translokasi
 - (5) Transkripsi yang termasuk mutasi kromosom, antara lain

- a. 1,2,3
- b. 1 dan 3
- c. 2 dan 4
- d. 4 saja
- e. semua benar



Jenis mutasi yang ditunjukkan pada gambar no 2 dan 3 adalah

- a. delesi interkalar dan terminal
 - b. inversi parasentris dan perisentris
 - c. translokasi tunggal dan resiprok
 - d. translokasi Robertson dan perpindahan
 - e. delesi basa tunggal dan insersi basa tunggal
11. Selain terjadi pada tingkat gen dan kromosom, mutasi dapat juga terjadi di dalam sel. Mutasi yang terjadi di dalam sel dibedakan menjadi
- a. mutasi frame shift dan mutasi titik
 - b. mutasi alami dan buatan
 - c. mutasi somatis dan germinal
 - d. mutasi gen dan kromosom
 - e. mutasi missense dan mutasi non sense
12. Aberasi kromosom atau mutasi kromosom dapat terjadi karena perubahan struktur dan jumlah kromosom. Mutasi kromosom akibat perubahan jumlah kromosom, dibedakan menjadi
- a. transisi dan transversi
 - b. delesi dan duplikasi
 - c. translokasi dan inversi
 - d. aneuploidi dan euploidi
 - e. monoploid dan poliploid
13. Suatu keadaan dimana individu mempunyai sel kromosom yang merupakan kelipatan dari jumlah kromosom individu normal (haploid) disebut
- a. euploidi
 - b. monoploid

- c. aneuploidi
- d. poliploid
- e. tetraploid

14. Kelainan yang terdapat pada manusia, karena kekurangan satu kromosom tunggal pada sel kelaminnya, disebut
- a. sindrom Edward
 - b. sindrom Klinefelter
 - c. pria XXY
 - d. sindrom Down
 - e. sindroma Turner
15. Apabila suatu individu mempunyai 3 perangkai kromosom (3n) dalam sel somatisnya, disebut
- a. tetraploid
 - b. triploid
 - c. poliploid
 - d. aneuploid
 - e. euploid
16. Terjadinya patahan pada dua kromosom homolog, kemudian bagian yang patah saling bertukar merupakan peristiwa translokasi
- a. tunggal
 - b. perpindahan
 - c. resiprok
 - d. ganda
 - e. parasentris
17. Segala sesuatu yang dapat menyebabkan terjadinya mutasi disebut
- a. mutan
 - b. polutan
 - c. mutagen
 - d. agen
 - e. poligen
18. Mutagen yang bersifat sangat reaktif adalah
- a. basa dan turunannya
 - b. DNA
 - c. sinar α , β , dan γ
 - d. sinar ultraviolet
 - e. senyawa alkil dan hidroksi

19. Kodon penentu asam amino glisin (GGC) berubah menjadi kodon penentu asam amino glisin yang lain (GGG). Mutasi tersebut berupa
- mutasi missense
 - mutasi non sense
 - mutasi netral
 - delesi
 - silent mutation
20. Berikut adalah dampak mutasi bagi kehidupan:
- Cacat bawaan
 - Tanaman buah tanpa biji
 - Berbagai produk hormon
 - Berbagai produk vaksin
 - Penyakit menurun
- Manakah yang merupakan hasil dari proses mutasi alami?
- 1 dan 5
 - 2 dan 4
 - 1 dan 3
 - 2 dan 5
 - 1,2 dan 3

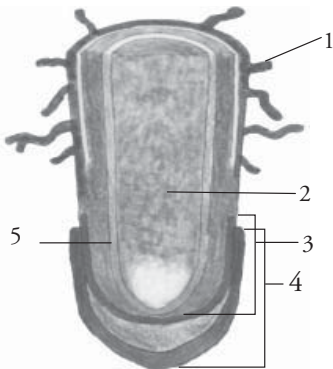
B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

- Jelaskan dengan gambar, peristiwa insersi basa tunggal.
- Sebutkan 4 macam penyebab terjadinya perubahan struktur kromosom.
- Sebutkan dan jelaskan apa yang dimaksud dengan delesi kromosom.
- Sebutkan dan jelaskan apa yang dimaksud dengan translokasi kromosom.
- Gambarkan skema terjadinya mutasi akibat duplikasi kromosom.
- Berikan salah satu contoh peristiwa monosomi dan jelaskan proses terjadinya.
- Bagaimanakah terjadinya sindrom Klinefelter?
- Jelaskan mengapa sinar UV dikategorikan sebagai mutagen yang lemah?
- Jelaskan perbedaan antara mutasi alami dengan mutasi buatan.
- Sebutkan dan jelaskan macam-macam mutagen yang menyebabkan terjadinya mutasi alami dan mutasi buatan.

Latihan Ulangan Akhir Semester I

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.


1. Bagian biji yang berfungsi untuk memasukkan air dan gas-gas terlarut, serta merupakan tempat masuknya inti sperma saat pembuahan disebut
 - a. hilum
 - b. endosperma
 - c. mikropil
 - d. epikotil
 - e. hipokotil
2. Yang merupakan bagian pokok dari embrio adalah
 - a. mikropil
 - b. radikula
 - c. skutelum
 - d. ovarium
 - e. hilum
3. Bagian akar embrio padi terbungkus oleh lapisan
 - a. radikula
 - b. skutelum
 - c. koleoptil
 - d. koleorhiza
 - e. kaulikulus
- 4.



Sistem jaringan yang akan membentuk meristem dasar ditunjukkan oleh nomor

- a. 1
- b. 2

- c. 3
 - d. 4
 - e. 5
5. Alat yang digunakan untuk mengukur pertumbuhan primer batang disebut
 - a. termometer
 - b. auksanometer
 - c. hidrometer
 - d. hygrometer
 - e. *hand* refraktometer
 6. Pertumbuhan sangat cepat yang terjadi jika tumbuhan berada di tempat gelap disebut
 - a. fisiologi
 - b. etiolasi
 - c. defisiensi
 - d. organogenesis
 - e. morfogenesis
 7. Dari kelima pilihan berikut, manakah yang merupakan pernyataan yang benar tentang hormon?
 - a. Tidak pernah bersifat menghambat pertumbuhan.
 - b. Merupakan senyawa anorganik.
 - c. Fitohormon bukan termasuk jenis hormon karena dapat menghambat pertumbuhan.
 - d. Hormon dapat mengendalikan aktivitas gen.
 - e. Sel-sel hanya memproduksi hormon dan tidak akan dipengaruhi oleh hormon yang dihasilkan.
 8. Berdasarkan lamanya penyinaran matahari, munga dan mawar merupakan contoh tumbuhan hari ...
 - a. pendek dan netral
 - b. pendek dan panjang
 - c. panjang dan pendek
 - d. panjang dan sedang
 - e. netral dan pendek

9. Salah satu sifat enzim adalah berbentuk koloid, karena enzim merupakan molekul
- karbohidrat
 - lemak
 - minyak
 - vitamin
 - protein
10. Pernyataan yang benar tentang pengaruh konsentrasi enzim terhadap kerja enzim adalah
- konsentrasi enzim tidak berpengaruh terhadap kecepatan reaksi
 - hubungan kerja enzim dengan konsentrasi enzim berbanding terbalik
 - kecepatan reaksi beberapa enzim adalah sama, jika mempunyai konsentrasi yang sama
 - konsentrasi enzim yang tinggi akan mempercepat reaksi secara linear
 - konsentrasi enzim hanya berpengaruh jika dalam kadar sangat rendah
11. Fotosistem I hanya dapat menyerap panjang gelombang cahaya sebesar
- 680 nm
 - 260 nm
 - 700 nm
 - 800 nm
 - 750 nm
12. NADPH hasil reaksi terang akan masuk ke dalam tahapan
- aliran elektron siklis
 - aliran elektron non-siklis
 - siklus Calvin
 - kemosintesis
 - glikolisis
13. Molekul anggota rantai transport elektron selama aliran elektron non-siklis adalah
- plastokuinon, kompleks sitokrom, dan plastosianin
 - feredoksin, kompleks sitokrom, dan plastosianin
 - fotosistem I
 - fotosistem II
 - NADPH
14. Molekul yang akan membentuk gula pada reaksi gelap adalah
- H_2O
 - O_2
 - $C_6H_{12}O_6$
 - CO_2
 - ATP
15. Kromosom bakteri berbeda dengan kromosom manusia, terutama karena kromosom bakteri berbentuk
- silinder
 - sirkuler
 - rantai lurus
 - rantai bercabang
 - spiral bercabang
- 16.
- 
- Bentuk kromosom seperti terlihat pada gambar adalah
- telosentris
 - metasentris
 - akrosentris
 - sub metasentris
 - asentris
17. Molekul pembawa informasi genetik dari DNA menuju ribosom untuk melanjutkan proses translasi adalah
- RNA m
 - RNA r
 - RNA t
 - DNA polimerase
 - RNA polimerase
18. Berikut ini adalah jenis-jenis enzim.
- lipase
 - helikase
 - piruvat kinase
 - hidrolase
 - primase
 - polimerase
- Yang berperan dalam replikasi DNA adalah enzim nomor

- a. 1, 3, dan 5
- b. 1, 3, dan 4
- c. 4, 5, dan 6
- d. 2, 5, dan 6
- e. 3, 4, dan 5

19. Tahapan yang membentuk kompleks antara promoter, RNA polimerase, dan faktor transkripsi adalah

- a. elongasi
- b. terminasi
- c. inisiasi
- d. replikasi
- e. translasi

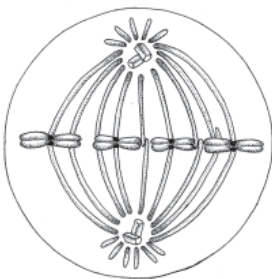
20. Urutan basa nukleotida yang dihasilkan dari proses transkripsi DNA *template*, dengan urutan basa SATGATTASTTS adalah

- a. GTASTAATGAAG
- b. TSATSGGTGSSG
- c. ASGTSGGSAGGA
- d. GUASUAAUGAAG
- e. GTUSTUUTGUUG

21. Pernyataan yang benar tentang interfase adalah

- a. sebenarnya tidak diperlukan untuk persiapan pembelahan
- b. tingkah laku kromosom belum jelas
- c. merupakan fase terakhir dalam pembelahan mitosis
- d. terdiri dari 2 tahapan, yaitu fase pertumbuhan primer dan fase pertumbuhan sekunder
- e. profase merupakan bagian dari interfase

22.



Gambar tersebut menunjukkan tahapan

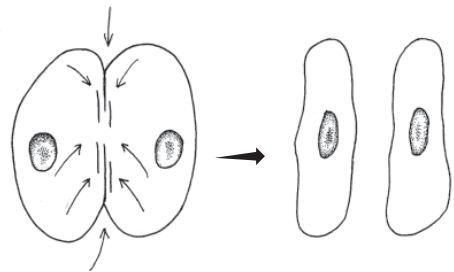
pembelahan sel

- a. profase
- b. metafase
- c. anafase
- d. telofase
- e. sitokinesis

23. Proses yang terjadi pada anafase adalah

- a. struktur kromatid yang berpisah berbentuk seperti huruf X
- b. kromatid saudara berpisah dan menuju ke satu kutub
- c. mikrotubulus menarik kromatid-kromatid ke arah kutub sel yang saling berlawanan
- d. kromatid belum berfungsi sebagai kromosom lengkap
- e. kromosom yang dihasilkan belum mempunyai sifat identik secara genetik

24.



Pembelahan sel (sitokinesis) seperti terlihat pada gambar terjadi pada

- a. bakteri
- b. hewan
- c. tumbuhan
- d. semua organisme
- e. virus

25. Berikut ini yang merupakan ciri pembelahan meiosis adalah

- a. terjadi melalui satu rangkaian tahapan
- b. menghasilkan 2 sel anakan yang identik
- c. berfungsi untuk melipatgandakan jumlah kromosom
- d. pada tumbuhan, terjadi pada putik dan benang sari
- e. pada hewan, terjadi pada sel-sel somatik (sel tubuh)

26. Hasil spermatogenesis yang bersifat haploid adalah
- spermatid dan spermatisit sekunder
 - spermatisit primer dan spermatogonium
 - spermatisit primer dan spermatisit sekunder
 - spermatozoa dan spermatisit primer
 - spermatozoa dan spermatisit sekunder
27. Perbandingan fenotip epistasis dominan adalah
- 9 : 3 : 3 : 1
 - 12 : 3 : 1
 - 9 : 3 : 4
 - 15 : 1
 - 13 : 3
28. Sifat yang tersembunyi dan akan muncul pada beberapa generasi selanjutnya disebut
- epistasis
 - hipostasis
 - komplementaer
 - atavisme
 - interaksi gen
29. Contoh peristiwa tautan pada kromosom Y adalah
- hypertrichosis
 - anemia
 - hemofilia
 - buta warna
 - sindrom down
30. Pindah silang tunggal akan menghasilkan empat macam gamet, yaitu
- 1 gamet tipe parental dan 3 gamet tipe rekombinasi
 - 2 gamet tipe parental dan 2 gamet tipe rekombinasi
 - 3 gamet tipe parental dan 1 gamet tipe rekombinasi
 - semuanya gamet tipe parental
 - semuanya gamet tipe rekombinasi
31. Penentuan jenis kelamin tipe ZW, dijumpai pada
- manusia, belalang, kepik
 - ayam, reptil, ikan
 - belalang, kupu-kupu, ayam
 - manusia, kupu-kupu, belalang
 - kupu-kupu, ikan, reptil
32. Hemofilia merupakan salah satu kelainan yang disebabkan oleh alel resesif pada gonosom X. Perkawinan antara wanita carrier dengan pria normal akan menghasilkan keturunan dengan perbandingan fenotip
- 25 % perempuan normal : 25 % perempuan carrier : 25 % laki-laki normal : 25 % laki-laki haemofili
 - 50 % perempuan normal : 25 % perempuan carrier : 25 % laki-laki normal
 - 50 % perempuan normal : 50 % laki-laki normal
 - 25 % perempuan normal : 25 % perempuan carrier : 50 % laki-laki normal
 - semua keturunan normal
33. Perkawinan antara laki-laki bergolongan darah A ($I^A I^A$) dengan perempuan bergolongan darah AB ($I^B I^A$), akan menghasilkan keturunan dengan perbandingan fenotip
- 25% golongan darah A : 50% golongan darah B : 25% golongan darah AB
 - 50% golongan darah A : 50% golongan darah AB
 - 50% golongan darah B : 50% golongan darah AB
 - 50% golongan darah A : 50% golongan darah B
 - 50% golongan darah A : 25% golongan darah B : 25% golongan darah AB
34. Berikut ini upaya-upaya untuk menghindari kelainan menurun:
- menghindari perkawinan antara keluarga dekat
 - peningkatan gizi
 - tidak menikahkan orang yang mengalami gangguan mental
 - menggunakan peta silsilah
 - perbaikan tempat tinggal
- Yang termasuk upaya eugenetika adalah
- 1, 2, 3

- b. 2, 4, 5
 - c. 1, 3, 4
 - d. 3, 4, 5
 - e. 2, 3, 4
35. Contoh terjadinya perubahan jumlah kromosom adalah
- a. translokasi
 - b. inversi
 - c. trisomi
 - d. duplikasi
 - e. delesi
36. Mutasi yang terjadi akibat berubahnya satu atau beberapa nukleotida DNA disebut
- a. mutasi gen
 - b. mutasi germinal
 - c. mutasi kromosom
 - d. mutasi somatik
 - e. mutagen
37. Peristiwa terjadinya patahan pada satu bagian kromosom, kemudian bagian yang patah bersambungan dengan ujung potongan kromosom lain disebut
- a. translokasi tunggal
 - b. delesi interkalar
 - c. translokasi resiprok
 - d. translokasi Robertson
 - e. translokasi perpindahan
38. Contoh peristiwa monosomi adalah sindrom
- a. Down
 - b. Klinefelter
 - c. Turner
 - d. patau
 - e. Edward
39. Perhatikan hal-hal berikut.
- 1) radiasi sinar ultraviolet
 - 2) gagal berpisah
 - 3) radiasi sinar kosmik dari angkasa
 - 4) zat-zat radioaktif yang masuk ke dalam tubuh
 - 5) kesalahan pada proses replikasi DNA
- Yang menyebabkan terjadinya mutasi adalah

- a. 1, 2, dan 3
- b. 3, 4, dan 5
- c. 1, 2, 3, dan 4
- d. 2 saja
- e. 1, 2, 3, 4, dan 5

40. Mutasi yang menyebabkan perubahan susunan nukleotida dan menyebabkan perubahan asam amino yang dihasilkan disebut
- a. missense
 - b. nonsense
 - c. mutasi diam
 - d. mutasi netral
 - e. mutasi alami

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. Sebutkan dan jelaskan tahapan proses perkecambahan biji.
2. Sebutkan bahan-bahan yang dapat dijadikan pupuk organik.
3. Sebutkan beberapa mikroflora dan mikrofauna dalam tanah yang berperan dalam menyediakan unsur-unsur.
4. Sebutkan dan jelaskan 2 teori tentang cara kerja enzim.
5. Jelaskan tahapan-tahapan yang terjadi pada sistem transport elektron.
6. Apakah yang dimaksud dengan:
 - a. plastida
 - b. kloroplas
 - c. mesofil
7. Bagaimanakah cara tumbuhan menyimpan hasil fotosintesis?
8. Jelaskan proses inisiasi pada tahapan transkripsi.
9. Buatlah tabel perbedaan antara DNA dan RNA berdasarkan tempat terdapatnya, basa nitrogennya, heliksnya, dan gula penyusun nukleotidanya.

10. Gambarkan dan jelaskan model replikasi DNA semi konservatif.
11. Jelaskan perbedaan antara mikrotubulus kinetokor dengan mikrotubulus non-kinetokor.
12. Jelaskan perbedaan antara pembelahan sel hewan dan sel tumbuhan.
13. Sebutkan hasil akhir proses mikrosporogenesis dan megasporogenesis.
14. Diketahui genotip jengger ayam mawar (R_pp), ercis (rrPP), walnut (R_P_), dan tunggal (rrpp). Tentukanlah perbandingan fenotip dan genotip dari persilangan:
 - a. rrPP X RrPp
 - b. RrPp X Rrpp
 - c. Rrpp X rrpp
15. Jika persilangan dua tanaman menghasilkan keturunan dengan perbandingan fenotip 13 buah merah : 3 buah ungu, maka:
 - a. buatlah skema persilangannya
 - b. peristiwa apakah yang terjadi?
16. Buatlah diagram perkawinan yang menghasilkan keturunan dengan perbandingan fenotip 50% anak perempuan normal (tidak buta warna) dan 50% anak laki-laki normal (tidak buta warna).
17. Sebutkan macam-macam cara menghambat berpisahny kromosom pada saat pembelahan sel.
18. Sebutkan dua macam pindah silang dan gambarkan proses yang terjadi.
19. Apa yang dimaksud dengan mutan dan mutagen?
20. Apakah yang menyebabkan penderita sindrom Down mempunyai kelebihan kromosom pada sel somatisnya? Jelaskan.

B a b VII

Evolusi



Microsoft Encarta Premium 2006

Saat kalian mendengar kata jerapah, tentunya kalian membayangkan leher jerapah yang panjang, bukan? Jerapah yang kita jumpai sekarang mempunyai ciri khas berleher panjang. Dibalik semua itu, ternyata ada pelbagai pendapat mengenai asal mula jerapah berleher panjang. Pendapat-pendapat itulah yang kemudian menjadi suatu teori. Bagaimanakah teori tentang asal mula jerapah berleher panjang tersebut? Semua akan dibahas dalam bab ini.

Kata Kunci

- Adaptasi
- Evolusi
- Mutasi
- Seleksi Alam
- Spesiasi
- Variasi

Galeri

Sosiolog Pertama Dunia

Herbert Spencer adalah seorang ahli filsafat dalam bidang sosial yang lahir di Inggris pada tahun 1820. Spencer sering dianggap sebagai salah satu sosiolog pertama di dunia. Konsep evolusi yang dikemukakan-nya banyak dikembangkan oleh Lamarck. Dalam bukunya yang berjudul *In Principles of Psychology* (1855), Spencer mengungkapkan bahwa karakteristik suatu individu, secara bertahap berkembang melalui mekanisme evolusi.

Microsoft Encarta Premium 2006

Pada bab berikut, kita akan mempelajari tentang evolusi kehidupan. Agar kalian memperoleh pemahaman yang menyeluruh, maka akan diuraikan beberapa Teori Evolusi yang berkembang sampai saat ini, bukti-bukti yang mendukung adanya evolusi, dan mekanisme terjadinya evolusi.

Setelah mempelajari materi pada bab ini, diharapkan kalian mampu menjelaskan berbagai Teori Evolusi, menemukan faktor-faktor dan petunjuk pendukung terjadinya evolusi, menjelaskan mekanisme evolusi, dan mengkomunikasikan hasil studi evolusi.

A. Konsep Dasar Evolusi

Kata *evolusi* awalnya diungkapkan oleh seorang ahli filsafat dari Inggris, akan tetapi belum mengarah pada evolusi kehidupan. Dalam perkembangannya, evolusi digunakan oleh seorang ahli naturalis untuk menjelaskan fenomena kehidupan yang mengalami perubahan dari waktu ke waktu. Berikut uraian tentang konsep evolusi yang telah diungkapkan oleh para ahli.

1. Teori-teori Evolusi

Teori-teori Evolusi mengalami perkembangan dari waktu ke waktu. Berbagai pendapat muncul dari para ilmuwan. Mulai dari evolusi yang tidak berhubungan dengan biologi, sampai pada evolusi yang masuk dalam kajian biologi. Para ilmuwan yang menyumbangkan gagasannya dalam masalah evolusi antara lain adalah:

a. Herbert Spencer

Herbet Spencer adalah seorang ahli filsafat dari Inggris yang pertamakali menggunakan istilah evolusi. Menurut Spencer, konsep evolusi yang dimaksud adalah berkaitan dengan suatu perkembangan ciri atau sifat dari waktu ke waktu melalui perubahan bertingkat. Pengertian yang dikemukakan oleh Spencer tersebut menunjukkan terjadinya suatu proses perubahan. Namun demikian, tampak bahwa pengertian yang dimaksud tidak terkait dengan kajian biologi, dan pada perkembangannya istilah tersebut tenggelam bersamaan dengan perkembangan pemikiran para ahli filsafat yang lain.

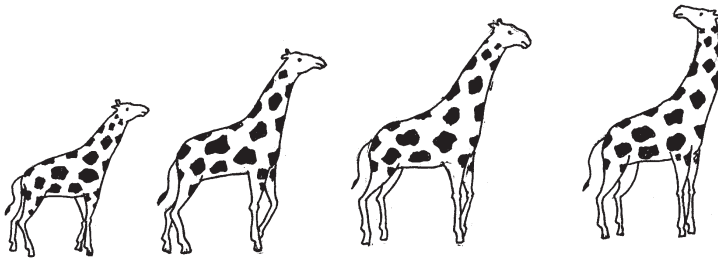
b. J.B. Lamarck

Berbeda halnya dengan Spencer, Lamarck memunculkan istilah evolusi yang berkaitan dengan bidang kajian biologi yakni evolusi makhluk hidup. J.B Lamarck mengungkapkan bahwa, makhluk hidup merupakan tingkat-tingkat perkembangan kehidupan, sedang manusia berada di puncak perkembangan tersebut. Yang artinya bahwa tidak akan muncul lagi makhluk hidup yang lebih tinggi tingkat kesempurnaannya di masa yang akan datang. Proses perkembangan tersebut menurut Lamarck dipengaruhi oleh kebiasaan. Kebiasaan tersebut akan menyebabkan perubahan struktur tubuh (anatomi) dan diwariskan kepada keturunannya. Sebagai akibat pengaruh kebiasaan tersebut, Lamarck menyimpulkan bahwa organ-organ yang digunakan

akan berkembang sedangkan organ yang tidak digunakan akan mengalami kemunduran (*use and disuse*).

Lamarck memberikan contoh fenomena jerapah sebagai pendukung teorinya. Menurut Lamarck, jerapah pada mulanya berleher pendek. Karena sering digunakan untuk menggapai pucuk dedaunan yang semakin tinggi, maka leher jerapah menjadi panjang. Mengapa jerapah harus menggapai pucuk dedaunan yang tinggi? Lamarck menjelaskan bahwa pucuk di bagian bawah telah habis dimakan, sehingga untuk mempertahankan hidup maka jerapah harus menjangkau pucuk dedaunan yang tinggi.

Dari contoh tersebut jelas bahwa faktor lingkungan yakni pucuk dedaunan yang makin tinggi untuk dijangkau, telah memengaruhi jerapah untuk menjulurkan lehernya. Akhirnya terjadi perubahan struktur anatomi leher jerapah menjadi semakin panjang dan sifat ini diwariskan kepada keturunannya.



Gambar 7.1 Perkembangan leher jerapah dari waktu ke waktu

c. Charles Darwin

Kalian tentunya pernah mendengar nama ilmuwan tersebut bukan? Charles Darwin adalah tokoh yang sangat terkenal dalam kaitannya dengan evolusi. Darwin banyak mengemukakan gagasan-gagasannya tentang evolusi. Karena pemikirannya tersebut, Darwin dikenal sebagai **Bapak Evolusi**.

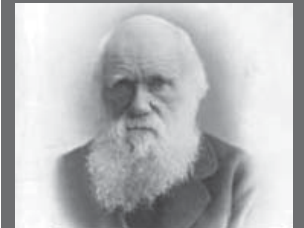
Pokok-pokok pemikiran yang melandasi ajaran Darwin mengenai evolusi antara lain:

- 1) Tidak ada individu yang identik, selalu ada variasi meskipun dalam satu keturunan



Gambar 7.2 Variasi warna bulu ayam

Galeri



Microsoft Encarta Premium 2006

Charles Darwin adalah seorang naturalis Inggris yang mengikuti eksplorasi kapal HMS Beagle untuk membuat peta pelabuhan dunia pada tahun 1831. Di sepanjang perjalanan inilah Darwin meneliti berbagai hewan dan tumbuhan yang dijumpainya. Darwin berada di Kepulauan Galapagos selama kurang lebih 2 bulan dan melakukan pengamatan terhadap bermacam-macam hewan yang ada di kepulauan terpencil itu. Melalui pengamatan tersebut dan berbagai pengamatan lanjutan yang dilakukannya selama puluhan tahun terhadap koleksi hewan dan tumbuhan yang diperolehnya, Darwin merumuskan embrio Teori Evolusi. Pada 1859, Darwin menerbitkan buku yang berjudul *On the Origin of Species by means of Natural Selection*, yang menyajikan bukti-bukti yang menunjukkan bahwa kehidupan telah berevolusi sepanjang sejarahnya dan bahwa mekanisme yang menyebabkan terjadinya evolusi adalah seleksi alam.

Green, Jejak Sejarah Sains Evolusi

- 2) Setiap populasi cenderung bertambah banyak karena setiap makhluk hidup mampu berkembang biak.
- 3) Untuk berkembangbiak diperlukan makanan dan ruang yang cukup.
- 4) Pertambahan populasi tidak berlangsung secara terus menerus, tetapi dipengaruhi oleh berbagai macam faktor pembatas antara lain makanan dan predasi.

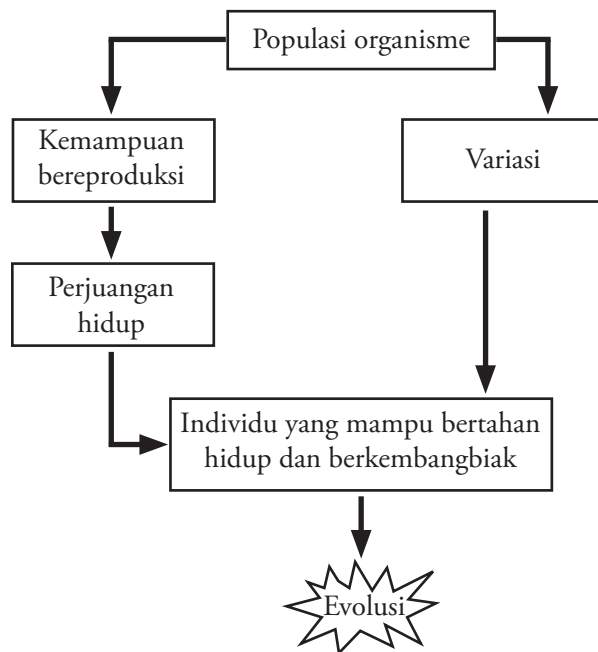
Darwin membantah teori Lamarck yang mengungkapkan bahwa perkembangan makhluk hidup menuju ke arah kesempurnaan, dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan diwariskan kepada keturunannya. Dalam bukunya *The Origin of Species by means of Natural Selection*, Darwin menyatakan dua hal penting sebagai Teori Evolusi yaitu:

- a) Spesies-spesies yang hidup sekarang berasal dari spesies nenek moyangnya yang hidup di masa lalu.
- b) Perkembangan spesies dipengaruhi oleh seleksi alam dan variasi antar populasi.

Fenomena jerapah dengan leher panjang dijelaskan oleh Darwin dengan melihat dari sudut pandang adanya variasi. Menurut Darwin, jerapah pada mulanya ada yang berleher panjang dan ada yang berleher pendek. Jerapah yang berleher pendek tidak mampu bertahan hidup karena kalah dalam berkompetisi dengan jerapah berleher panjang untuk memperoleh makanan berupa dedaunan pada pohon yang tinggi. Akibatnya populasi jerapah berleher pendek menjadi punah dan tinggal populasi jerapah berleher panjang yang mampu bertahan hidup di lingkungannya (*Hukum survival of the fittest*). Supaya kalian lebih memahami konsep evolusi Darwin, cermatilah bagan alir berikut ini.

Kilas

Masih ingatkah kalian tentang mutasi? Mutasi dibedakan menjadi mutasi gen dan mutasi kromosom. Mutasi kromosom menyebabkan perubahan struktur kromosom (delesi, duplikasi, inverte, translokasi dan katenasi) serta perubahan jumlah kromosom (Euploid dan aneuploid).



Gambar 7.3 Bagan alir konsep Teori Evolusi Darwin

Dari pendapat para ahli di atas, munculah Teori Evolusi yang terbaru yakni yang dikenal sebagai **Teori Sintetik**. Teori ini merupakan gabungan dari teori Lamarck, Darwin, dan hukum pewarisan Mendel yang isinya mengungkapkan bahwa evolusi terjadi karena perubahan frekuensi gen dari suatu generasi ke generasi berikutnya. Ahli lain bernama **De Vries** melengkapi teori ini dengan menyatakan bahwa evolusi terjadi karena perubahan frekuensi gen akibat mutasi.

Telisisik

Untuk melengkapi pengetahuan kalian tentang teori evolusi, buatlah klipng yang berisi pendapat para ahli tentang teori evolusi selain yang telah disebutkan dalam buku ini. Kalian dapat mencarinya dari internet ataupun buku-buku lain yang mengkaji tentang evolusi secara lebih luas. Teliti pula latar belakang atau biografi ahli tersebut. Kemudian berilah komentar terhadap berbagai pendapat tersebut menurut pemikiranmu sendiri.

2. Pro dan Kontra Evolusi

Teori Evolusi yang dikemukakan oleh para ahli pada masanya, mendapat tanggapan dari berbagai kalangan baik yang berasal dari kelompok ilmuwan maupun kelompok lain. Tanggapan yang muncul pun beragam. Ada yang bersifat saling mendukung (pro) dan ada pula yang menolak (kontra). Tanggapan-tanggapan tersebut antara lain:

a. Lamarck vs Weismann

Weismann (1834-1912) adalah seorang ahli biologi dari Jerman yang menentang pendapat Lamarck mengenai diturunkannya sifat-sifat yang diperoleh dari lingkungan. Penolakannya terhadap teori Lamarck didukung oleh hasil percobaannya terhadap 2 ekor tikus yang dipotong ekornya kemudian dikawinkan. Setelah diamati, keturunan yang lahir ternyata tetap berekor panjang. Berdasarkan pengamatan Weismann, keadaan ini tetap berlangsung meskipun dilakukan sampai 20 generasi. Pada akhirnya Weismann menyimpulkan bahwa perubahan sifat yang diperoleh dari lingkungan tidak diwariskan kepada keturunannya. Pewarisan sifat akan diturunkan kepada generasi berikutnya apabila terjadi perubahan pada tingkat gen yaitu pada sel-sel gamet.

b. Lamarck vs Darwin

Keduanya berbeda pendapat mengenai fenomena jerapah berleher panjang. Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, menurut Lamarck pada awalnya jerapah berleher pendek akan tetapi karena makanan yang berupa daun makin berkurang, maka dari generasi ke generasi leher jerapah semakin panjang untuk menjangkau daun yang semakin tinggi letaknya. Sedangkan menurut Darwin, dalam populasi jerapah ada yang berleher panjang dan berleher pendek. Dalam kompetisi untuk mendapatkan makanan, jerapah berleher panjang tetap bertahan hidup sedangkan jerapah berleher pendek akan tersingkir secara perlahan-

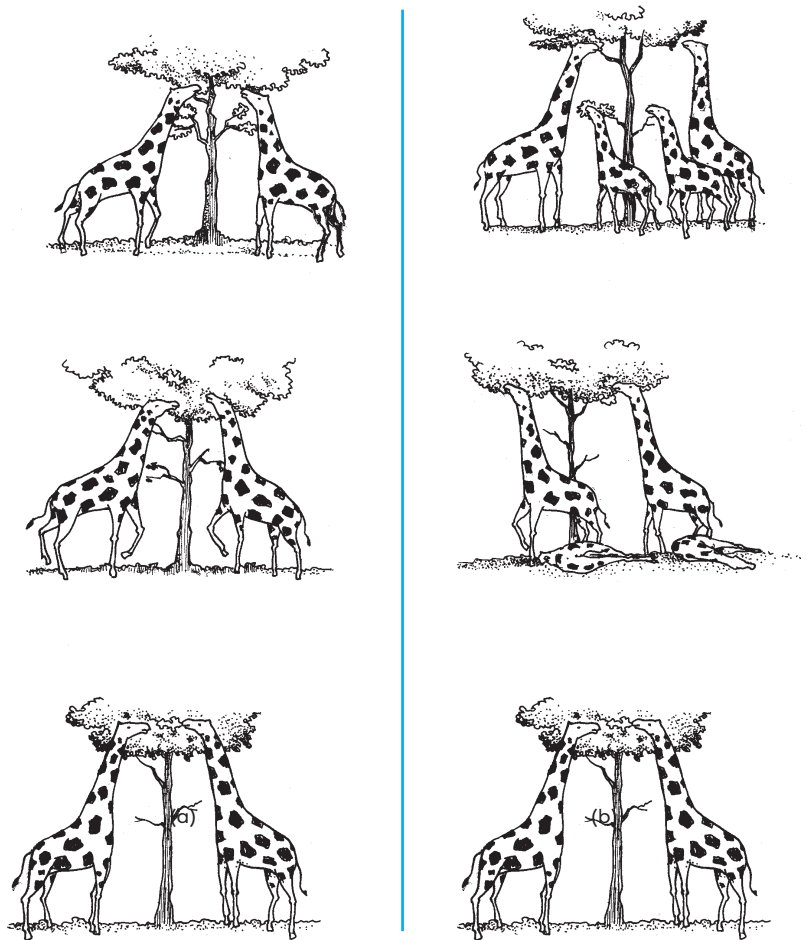
Galeri

Lamarck Ahli Botani dan Zoologi Invertebrata

Lamarck merupakan ahli botani dan zoologi invertebrata yang memiliki nama lengkap **Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet Chevalier de Lamarck**. Lamarck lahir pada tahun 1744 di Bazentin-le-Petit Perancis. Lamarck sempat mengenyam pendidikan militer pada tahun 1759. Selama menjalani pendidikan militer, Lamarck mulai tertarik mempelajari tumbuhan dan bersama **George Louis Buffon** mempublikasikan hasil observasinya ke dalam buku yang berjudul *Flore francois (Plants of France)*.

Microsoft Encarta Premium 2006

lahan. Dari fenomena ini muncullah gagasan Darwin tentang seleksi alam. Untuk lebih memahami perbedaan konsep Teori Evolusi Darwin dan Lamarck, perhatikan Gambar 7.4 berikut.



Gambar 7.4 Teori Evolusi jerapah (a) menurut Lamarck, (b) menurut Darwin

Nah, setelah memahami penjelasan di atas kalian menjadi tahu mengapa jerapah memiliki leher yang panjang.

c. Darwin vs Weismann

Berbeda dengan tanggapannya mengenai gagasan Lamarck, gagasan Weismann lebih menjelaskan pandangan Darwin mengenai seleksi alam. Menurut Weismann, evolusi menyangkut masalah bagaimana pewarisan gen melalui sel-sel kelamin, sehingga perubahan sifat-sifat karena pengaruh lingkungan tidak akan diwariskan kepada keturunannya.

Jadi dengan jelas bahwa leher panjang atau pendek pada jerapah dikendalikan oleh gen. Gen untuk sifat leher panjang bersifat dominan, sedangkan gen untuk sifat leher pendek bersifat resesif.

d. Darwin vs Wallace

Kedua tokoh tersebut mempunyai persamaan gagasan dalam menanggapi masalah evolusi. Mereka sependapat bahwa evolusi terjadi melalui seleksi alam. Munculnya spesies baru berasal dari spesies sebelumnya.

Setiap individu anggota populasi mempunyai kemampuan untuk berkembang biak dan diantara individu-individu tersebut terdapat variasi. Dalam usahanya untuk mempertahankan hidup, individu yang tidak mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungan akan tersingkir dan akhirnya punah.

Selain para ahli di atas, muncul juga pihak yang menentang Teori Evolusi dari sudut pandang yang berbeda. Pihak tersebut adalah kelompok agamawan (*creationist*) yang menolak Teori Evolusi dari sudut pandang ajaran agama. Kelompok ini dikenal sebagai kelompok yang menganut paham **kreasionisme**.

Paham kreasionisme adalah suatu paham yang meyakini bahwa makhluk hidup dan segala jenisnya diciptakan oleh Tuhan, secara terpisah (tidak ada kesamaan leluhur, atau bahwa satu jenis makhluk hidup tidak diturunkan dari jenis makhluk hidup lain).

Diskusi

Nah, untuk lebih meyakinkan pandangan kalian tentang Teori Evolusi, diskusikanlah dengan teman sekelompok kalian, bagaimanakah kebenaran teori evolusi. Kemukakan alasan kalian. Catatlah pendapat dari masing-masing anggota kelompok diskusi kalian kemudian sampaikanlah hasilnya dalam diskusi kelas.

Uji Kompetensi

Jawablah soal-soal berikut ini dengan tepat.

1. Jelaskan beberapa Teori Evolusi yang berkembang selama ini.
2. Jelaskan pokok-pokok pikiran Teori Evolusi Darwin.
3. Sebutkan persamaan dan perbedaan pandangan para ahli tentang evolusi.
4. Bagaimanakah pandangan kaum agamawan tentang Teori Evolusi?
5. Menurut pendapat kalian, bagaimanakah kebenaran Teori Evolusi? Jelaskan pendapat kalian disertai alasan-alasan yang memperkuat pernyataan sikap kalian.

Teori Evolusi yang dikemukakan oleh Darwin telah memberikan banyak keuntungan dalam menjelaskan berbagai fenomena alam yang ada seperti keanekaragaman dan pewarisan sifat. Meskipun demikian, sebuah teori tidak cukup hanya berupa pernyataan-pernyataan saja. Sebagaimana teori yang lain, Teori Evolusi memiliki bukti-bukti yang dapat dijadikan sebagai pendukung. Bukti-bukti apakah yang dapat mendukung Teori Evolusi? Bagaimana bukti-bukti tersebut menjelaskan fenomena evolusi kehidupan? Di bawah ini akan dibahas tentang bukti-bukti pendukung evolusi. Simaklah uraiannya.

B. Bukti-bukti Adanya Evolusi

Para ahli telah melakukan penelitian-penelitian dari berbagai sudut pandang ilmu guna memperoleh bukti-bukti kebenaran Teori Evolusi. Bukti-bukti yang telah ditemukan oleh para ahli dan dianggap menjadi petunjuk adanya fenomena evolusi di antaranya adalah bukti-bukti dari paleontologi yang berupa fosil-fosil, bukti dari perbandingan struktur anatomi, perbandingan perkembangan embrio, perbandingan secara biokimiawi, penyebaran spesies (distribusi geografik) serta bukti domestikasi.

Nah, mengingat pentingnya pemahaman tentang bukti-bukti tersebut maka di bawah ini akan diuraikan penjelasan lebih lanjut mengenai bukti-bukti petunjuk adanya evolusi kehidupan.

1. Bukti Paleontologi

Paleontologi adalah ilmu yang mempelajari tentang fosil. Fosil merupakan sisa-sisa organisme yang hidup di masa lampau, terawetkan secara alami, dan telah berumur jutaan tahun. Fosil dapat berupa tubuh yang utuh, bagian-bagian tubuh, jejak, ataupun kotoran (koprolit) dari makhluk hidup.

Menurut Darwin, fosil merupakan bukti evolusi yang menunjukkan kontinuitas perkembangan kehidupan. Para ahli paleontologi telah melakukan studi terhadap fosil-fosil yang ditemukan serta proses yang terjadi sampai munculnya fosil-fosil tersebut. Di samping itu, ahli paleontologi juga mempelajari umur fosil tersebut dengan memperkirakan umur lapisan batuan tempat ditemukannya fosil. Salah satunya dengan menggunakan unsur radioaktif.

Perkembangan kehidupan Kingdom Animalia dan Plantae dapat dijelaskan berdasarkan fosil yang ditemukan yang dikaitkan dengan spesies yang masih ada saat ini.

Di samping hubungan filogenetik yang ditunjukkan oleh fosil, beberapa fungsi lain juga dapat diperoleh dari studi tentang fosil. Fungsi-fungsi tersebut antara lain:

- Menunjukkan waktu pemunculan awal suatu organisme yang dapat mencerminkan terjadinya adaptasi secara umum.
- Diketahuinya kecepatan evolusi berdasarkan perubahan fosil suatu kelompok organisme ke kelompok berikutnya.
- Munculnya kecenderungan evolusi yang diperlihatkan dari perkembangan fosil.
- Memperlihatkan pola evolusi yang terjadi berdasarkan hasil studi tentang kekerabatan fosil organisme.

Charles Lyell (1779-1875) menunjukkan sejumlah bukti geologis dan palaeontologis yang memiliki arti penting bagi Teori Evolusi Darwin. Lyell berpendapat bahwa fosil-fosil yang berada di dalam strata (lapisan) tanah tertentu merupakan bagian kecil dari spesies hidup. Dia juga menunjukkan bahwa fosil-fosil tersebut berubah secara bertahap,



Gambar 7.5 Fosil Archaeopteryx

Green, Jejak Sejarah Sains Evolusi, hlm. 29

Galeri

Fenomena Penemuan Fosil

Pada umumnya fosil yang ditemukan oleh para ilmuwan merupakan suatu bagian atau beberapa bagian dari tubuh makhluk hidup. Faktor yang mengakibatkan jarang ditemukan fosil dalam keadaan utuh atau lengkap antara lain: proses pelipatan batuan bumi, pengaruh air dan angin, bakteri pembusuk, hewan pemakan bangkai, jenis organismenya dan keadaan lingkungan sekitar yang tidak memungkinkan organisme yang mati menjadi fosil.

Green, Jejak Sejarah Sains Evolusi

jika diadakan penyelidikan secara perlahan dimulai dari lapisan tertua menuju lapisan yang lebih muda.

Kalian dapat melihat secara langsung dan mempelajari fosil yang ditemukan di Indonesia, dengan mengikuti rubrik *Telisisik* berikut.

Telisisik

Indonesia merupakan salah satu negara yang banyak memberikan kontribusi dalam mengungkap sejarah masa lampau. Banyak fosil-fosil yang ditemukan di Indonesia, antara lain di Pacitan, Sangiran, Mojokerto dan tempat-tempat lain. Di Sangiran terdapat suatu museum yang menyimpan koleksi fosil-fosil makhluk hidup masa lampau.

Nah, untuk melatih kemampuan kalian dalam merencanakan dan mengomunikasikan hasil studi mengenai evolusi, bersama teman satu kelompok kalian buatlah proposal studi lapangan untuk mengunjungi museum di Sangiran. Format proposal tersebut mencakup latar belakang, tujuan, manfaat, tempat dan waktu pelaksanaan, peserta serta anggaran biaya. Proposal tersebut kemudian ajukan kepada guru kalian.

Selanjutnya apabila guru dan pihak sekolah menyetujui proposal yang kamu buat maka kalian akan benar-benar mengunjungi museum fosil di Sangiran. Pada waktu mengunjungi museum di Sangiran nanti, catatlah semua informasi yang kalian peroleh disana, kemudian susunlah data-data tersebut ke dalam sebuah laporan hasil studi lapangan.

Catatan: Rubrik *Telisisik* ini dapat dijadikan sebagai tugas proyek.

Percobaan

Membuat Fosil Buatan

A. Dasar Teori

Fosil merupakan sisa-sisa organisme yang hidup di masa lampau dan terawetkan secara alami dan telah berumur ratusan bahkan jutaan tahun. Fosil dapat berupa tubuh yang utuh, bagian-bagian tubuh, jejak, ataupun kotoran (koprolit) makhluk hidup pada masa lampau.

B. Tujuan

Membuat fosil buatan berupa fosil tubuh yang utuh dan bagian-bagian tubuh dari bahan sederhana melalui kerja kelompok.

C. Alat dan Bahan

1. Adonan semen
2. Vaseline
3. Cangkang hewan laut seperti kerang dan siput
4. Wadah plastik tempat adonan semen

D. Langkah Percobaan

1. Isilah wadah dengan adonan semen hingga dua pertiga bagian.
2. Tekan cangkang pada adonan semen dengan hati-hati dan biarkan mengeras selama 24 jam.
3. Olesilah permukaan cangkang dengan vaselin kemudian penuhilah sisa ruang pada wadah dengan adonan semen.
4. Biarkan mengeras selama 24 jam.
5. Keluarkan adonan semen yang mengeras dari wadah kemudian pecahkan adonan semen hingga terbelah untuk melihat fosil buatan kalian.

E. Pembahasan

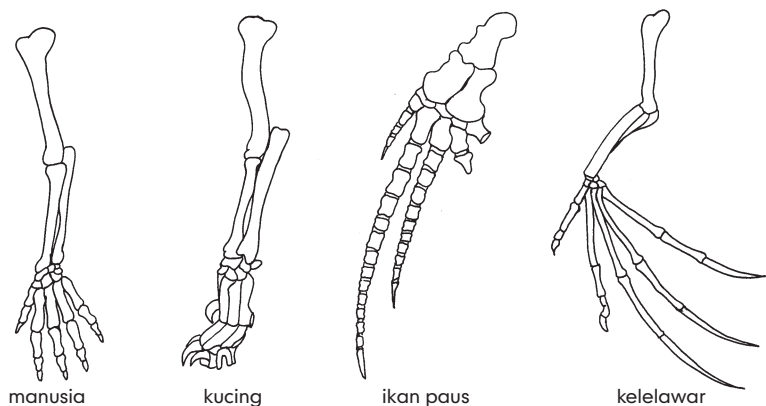
1. Amati fosil yang telah kalian buat. Sifatnya rapuh atau kompak? Kaitkan dengan fenomena mengapa banyak fosil yang ditemukan hanya berupa potongan bagian tubuh saja.
2. Simpulkan dan presentasikan hasil percobaan kalian di depan guru dan teman-teman sekelas.

2. Anatomi Perbandingan

Anatomi makhluk hidup merupakan salah satu cabang biologi yang mempelajari struktur dalam tubuh makhluk hidup. Berdasarkan hasil studi, diketahui bahwa beberapa organisme yang berbeda memiliki organ-organ yang fungsinya sama.

Organ-organ yang fungsinya sama tetapi memiliki struktur yang berbeda dinamakan **organ analog**. Sebagai contoh, perhatikanlah sayap pada burung, kelelawar, capung, dan kupu-kupu. Struktur anatomi sayap pada hewan-hewan tersebut berbeda tetapi memiliki fungsi yang sama untuk terbang.

Selain itu, terdapat juga organ-organ yang struktur dasar dan tipe perkembangannya embrionalnya sama akan tetapi memiliki fungsi berbeda. Organ-organ ini dinamakan **organ homolog**. Contoh homologi ditemukan pada salah satu organ dari beberapa spesies yang berbeda, seperti pada Gambar 7.6 di bawah ini.



Gambar 7.6 Struktur homologi anggota gerak pada manusia, kucing, ikan paus, dan kelelawar

Lengan manusia, kaki pada kucing, sirip ikan paus dan sayap kelelawar memiliki fungsi yang berbeda, tetapi struktur dasarnya sama. Lengan pada manusia berfungsi untuk memegang, kaki pada kucing berfungsi untuk berlari, sirip pada ikan paus berfungsi untuk berenang sedangkan sayap pada kelelawar berfungsi untuk terbang.

Struktur analog dan homolog tersebut menunjukkan adanya hubungan kekerabatan antara satu spesies dengan spesies yang lainnya.

Hubungan tersebut juga menunjukkan perkembangan evolusioner yang semakin maju pada makhluk hidup. Supaya lebih paham, kalian juga dapat mencari contoh-contoh yang lainnya.

3. Struktur Vestigial

Masih ingatkah kalian dengan gagasan evolusi Lamarck mengenai konsep *use and disuse*? Lamarck mengungkapkan bahwa organ-organ yang tidak pernah digunakan semakin lama akan mengalami penyusutan atau mereduksi. Namun demikian, ada beberapa organ yang masih bisa ditemukan hingga dewasa meskipun strukturnya berbeda dengan struktur pada waktu embrionya. Keberadaan organ-organ ini menunjukkan adanya sisa-sisa peninggalan evolusi dari nenek moyang manusia.

Sebagai contoh, manusia memiliki tulang ekor dan umbai cacing (apendiks) yang tidak memiliki fungsi. Pada burung penguin dan burung kiwi mempunyai sayap yang tereduksi sehingga tidak dapat digunakan untuk terbang.

4. Embriologi

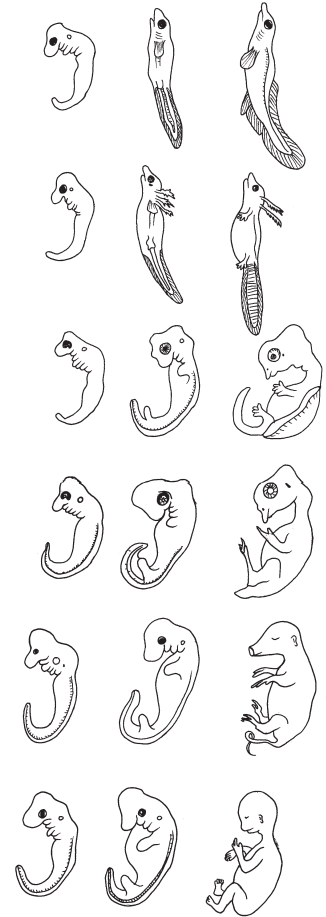
Bukti evolusi lain yang cukup kuat adalah perkembangan embriologi. Pada vertebrata diketahui bahwa perkembangan embriologinya menunjukkan adanya kesamaan. Hal ini dapat diamati dari setiap fase-fase perkembangan embrio. Perhatikan Gambar 7.7 di samping ini.

Setelah memerhatikan Gambar 7.7, apakah kalian menemukan adanya kesamaan? Dari kelima embrio tersebut, masing-masing mengalami fase pembelahan kemudian berkembang dan mengalami morfogenesis hingga berdiferensiasi membentuk organisme yang strukturnya semakin kompleks.

Perhatikanlah struktur embrio pada tiap fase perkembangannya. Pada embrio manusia setelah tahap pembelahan menunjukkan adanya ekor yang sangat jelas. Hal ini tidak jauh berbeda dengan embrio-embrio yang lain. Disamping itu, embrio manusia yang berumur satu bulan mempunyai serangkaian lekuk brankial di daerah leher. Lekuk tersebut serupa dengan serangkaian kantung insang yang terdapat pada ikan. Kesamaan tersebut memperkuat dugaan bahwa makhluk hidup mengalami proses perkembangan yang mengarah pada kesempurnaan bentuk.

5. Biokimia Perbandingan

Perkembangan ilmu pengetahuan telah melahirkan cabang ilmu baru yang dapat dijadikan sebagai dasar dalam menjelaskan fenomena alam. Biokimia merupakan cabang biologi yang mempelajari unsur-unsur kimia serta reaksinya dalam tubuh makhluk hidup. Persamaan biokimia dalam organisme hidup merupakan salah satu ciri penting yang membedakan satu organisme dengan organisme lain. Hasil studi biokimia menunjukkan adanya homologi biokimia pada makhluk hidup yang kekerabatannya dekat.



Gambar 7.7 Bukti embriologi pada vertebrata

Jumlah perbedaan asam amino antara rantai beta hemoglobin beberapa spesies dengan yang terdapat pada manusia	
Spesies	Jumlah asam amino yang berbeda
Manusia	0
Gorilla	1
Gibbon	2
Monyet Rhesus	8
Anjing	15
Kuda, Sapi	25
Tikus	27
Kanguru kelabu	38
Ayam	45
Kodok	67

Kesamaan biokimia pada makhluk hidup yang dapat menjadi bukti adanya evolusi diantaranya adalah: Pertama, adanya enzim sitokrom pada hampir setiap organisme hidup. Enzim ini merupakan rantai polipeptida yang terdiri atas 104 sampai 112 asam amino. Kedua, urutan asam amino pada hemoglobin mamalia menunjukkan kemiripan, terutama pada spesies yang diduga berkerabat dekat. Perhatikan tabel di samping. Berdasarkan tabel tersebut, manusia paling dekat kekerabatannya dengan gorila.

Selain itu, hormon-hormon pada sebagian besar vertebrata diketahui memiliki persamaan. Sebagai contoh adalah hormon prolaktin yang terdapat pada berbagai spesies vertebrata seperti ikan, burung, dan mamalia. Hal ini menunjukkan bahwa hormon tersebut diwariskan dari nenek moyang yang sama tetapi memiliki fungsi yang berbeda karena mengalami modifikasi sesuai dengan cara hidup setiap hewan tersebut.

Kilas

Masih ingatkah kalian mengenai asam amino? Berdasarkan kemampuan tubuh untuk mensintesisnya, asam amino dibedakan menjadi asam amino esensial (tubuh tidak mampu mensintesisnya) dan asam amino non esensial (tubuh mampu mensintesisnya). Asam amino esensial terdiri dari treonin, triptofan, isoleusin, leusin, lisin, fenilalanin, tirosin, metionin, sistein, dan valin.

6. Biogeografi

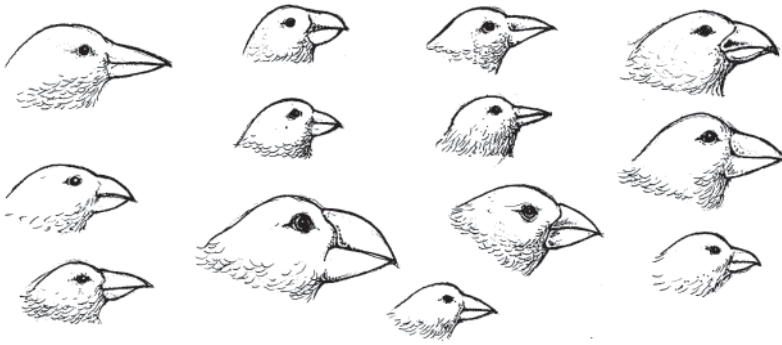
Penyebaran hewan dan tumbuhan di berbagai daerah merupakan pendukung kuat adanya evolusi. Perjalanan Darwin ke Kepulauan Galapagos telah membuahkan bukti bahwa pada pulau-pulau yang berdekatan ditemukan jenis hewan yang mirip.

Galapagos merupakan kelompok kecil kepulauan yang wilayahnya seolah-olah terpisah satu sama lain. Di kepulauan tersebut, Darwin menemukan burung-burung laut yang sama dengan burung laut yang terdapat di lautan pasifik. Darwin juga menemukan tiga belas spesies burung daratan yang tidak dikenal di wilayah lainnya. Burung-burung tersebut menunjukkan karakteristik yang sangat berbeda dalam bentuk paruh. Sebagian memiliki paruh besar untuk memakan biji, sebagian yang lain mempunyai paruh yang sesuai untuk memakan serangga dan sebagai burung pelatuk.

Dari keanekaragaman burung yang terdapat di pulau tersebut, diketahui adanya persamaan dasar yakni bahwa burung-burung tersebut adalah burung finch (sejenis burung penyayi). Menurut Darwin, fenomena ini adalah suatu bukti bahwa burung-burung finch tersebut berasal dari nenek moyang finch yang berasal dari Amerika Selatan. Burung finch tersebut telah mengalami evolusi karena secara kebetulan mencapai pulau-pulau di wilayah Galapagos yang kondisi alamnya berbeda dengan daerah asal burung tersebut.



Gambar 7.8 Peta Kepulauan Galapagos



Gambar 7.9 Variasi bentuk paruh burung finch di Kepulauan Galapagos

7. Domestikasi

Domestikasi merupakan bukti evolusi yang muncul karena adanya campur tangan manusia. Kegiatan manusia dalam pembudidayaan tanaman ataupun hewan tertentu telah melahirkan spesies-spesies baru yang memiliki sifat yang berbeda dengan nenek moyangnya. Perubahan tersebut merupakan bagian dari evolusi makhluk hidup yang diciptakan oleh manusia untuk keuntungan manusia.

Manusia telah membudidayakan berbagai macam tanaman mulai dari tanaman untuk konsumsi, tanaman hias dan hewan ternak dengan tujuan untuk memperoleh kultivar baru yang lebih baik dari tanaman induknya. Sebagai contoh, pernahkah kalian makan semangka tanpa biji? Nah, semangka tersebut merupakan salah satu kultivar hasil domestikasi.

Uji Kompetensi

Jawablah soal-soal berikut ini dengan tepat.

1. Sebutkan bukti-bukti yang mendukung adanya evolusi.
2. Jelaskan bagaimana perkembangan embrio-

logi dapat menjadi bukti adanya evolusi.

3. Menurut pendapat kalian adakah keterkaitan penyebaran jenis-jenis hewan dan tumbuhan dengan evolusi? Sebutkan alasan-alasan yang mendukung pendapat kalian.
4. Bagaimanakah domestikasi dapat berpengaruh terhadap evolusi?

Dalam evolusi, makhluk hidup mengalami perubahan secara perlahan lahan dari waktu ke waktu sampai dilahirkannya spesies baru yang berbeda dengan nenek moyangnya. Sejauh yang kalian tahu, bagaimanakah proses perubahan makhluk hidup itu terjadi? Coba kalian perhatikan ciri-ciri kalian sendiri. Apakah terdapat ciri yang sama dengan orang tua kalian? Mengapa ciri-ciri yang kalian miliki tidak sama persis dengan ibu atau ayah kalian? Bagaimanakah proses perubahan itu terjadi?

Dalam konteks evolusi, Darwin mengemukakan beberapa teori yang dapat menjelaskan tentang mekanisme terjadinya evolusi. Nah, pada subbab berikut ini akan diuraikan tentang mekanisme evolusi. Ikutilah pembahasannya.

C. Mekanisme Evolusi

Hasil akhir dari proses evolusi adalah munculnya spesies baru yakni spesies yang memiliki karakter berbeda dengan induknya. Bagaimanakah hal ini dapat terjadi? Evolusi berkaitan dengan perubahan sifat genetik yang diwariskan kepada keturunannya, akibatnya sifat keturunan akan berbeda dengan sifat induknya. Dengan demikian, mekanisme evolusi berkaitan dengan adanya perubahan materi genetik dan seleksi alam.

1. Perubahan (Variasi) Genetik

Sebagaimana telah kalian ketahui sebelumnya, setiap organisme memiliki susunan genetik yang berbeda. Apabila anggota populasi tersebut kawin, maka akan dilahirkan organisme yang memiliki faktor genetik yang berbeda dengan kedua induknya. Meskipun demikian perbedaan yang muncul tidak terlalu mencolok, sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk terbentuknya spesies baru.

Dalam genetika populasi, dikenal adanya istilah *pool gen* yang merupakan jumlah keseluruhan alel dari gen yang menyusun seluruh individu populasi. Perubahan genetik dari spesies yang mengalami evolusi akan memengaruhi terjadinya perubahan frekuensi gen pada *pool gen*. Kondisi seperti ini disebut sebagai **mikroevolusi**.

Ada lima penyebab (agen) mikroevolusi yaitu hanyutan genetik (*genetic drift*), aliran gen (*gen flow*), perkawinan tidak acak, mutasi, dan seleksi alam. *Genetic drift* adalah perubahan dalam kumpulan gen suatu populasi kecil akibat kejadian acak, sedangkan *gen flow* yaitu pertukaran genetik akibat migrasi individu yang subur (fertil) atau perpindahan gamet antar populasi. Perkawinan tidak acak umumnya terjadi pada perkawinan antar pasangan yang masih dekat hubungan kekerabatannya.

Perubahan frekuensi gen dapat terjadi dalam waktu seketika. Bagaimanakah hal ini bisa terjadi? Dalam ilmu genetika, dikenal adanya peristiwa mutasi dan rekombinasi. Kedua peristiwa tersebut memungkinkan terjadinya variasi genetik dalam suatu populasi.

a. Mutasi

Masih ingatkah kalian tentang mutasi? Mutasi dapat terjadi pada gen (mutasi gen) dan juga dapat terjadi pada kromosom (mutasi kromosom). Individu hasil mutasi memiliki genotip yang berbeda dengan induknya sehingga menyebabkan perubahan pada *pool gen*. Kecepatan mutasi dapat diukur dengan membandingkan jumlah gen yang mengalami mutasi dengan jumlah gamet. Kecepatan mutasi relatif lambat disebabkan karena DNA sifatnya tidak mudah berubah. Angka kecepatan mutasi pada umumnya sebesar 1 gen: 100.000 gen.

Meskipun angka kecepatan mutasi relatif rendah, namun tetap saja menyebabkan terjadinya variasi yang akan memengaruhi *pool gen*. Hal ini dikarenakan:

1. Setiap kromosom mengandung ribuan gen

Kilas

Masih ingatkah kalian tentang mutagen? Mutagen merupakan suatu agen yang menyebabkan terjadinya mutasi. Contoh mutagen antara lain radiasi sinar ultraviolet, sinar kosmik, sinar γ , sinar α , sinar β , sinar γ , dan kesalahan replikasi DNA.

2. Setiap individu mampu menghasilkan ribuan gamet dalam satu generasi
3. Banyaknya jumlah individu dalam setiap generasi.

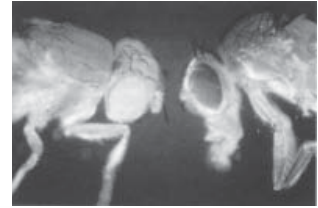
Mutasi ada yang bersifat menguntungkan dan merugikan. Mutasi yang menguntungkan akan menghasilkan keturunan yang adaptif, sedangkan mutasi yang merugikan merupakan mutasi letal dan akan menghasilkan keturunan yang kurang adaptif. Mutasi letal biasanya terjadi pada individu homozigot resesif.

Contoh mutasi gen terjadi pada lalat buah (*Drosophilla melanogaster*), yakni ditemukannya seekor lalat jantan yang bermata putih diantara anggota populasi yang kesemuanya bermata merah. Munculnya gen yang menyebabkan warna mata putih ini kemudian dikenal sebagai mutasi gen. Pada pengamatan selanjutnya ditemukan 5.000 ekor lalat mutan (mata putih) diantara 20 juta ekor lalat yang diamati. Hal ini menunjukkan bahwa munculnya gen baru tersebut diwariskan kepada keturunannya. Contoh mutasi gen tersebut menggambarkan terjadinya perubahan populasi organisme yang merupakan bagian dari proses evolusi.

Selain mutasi gen, terdapat pula peristiwa mutasi kromosom yang perubahannya lebih mencolok dibandingkan mutasi gen. Pada mutasi kromosom perubahan dapat berupa perubahan jumlah kromosom ataupun struktur kromosom.

Masih ingatkah kalian contoh-contoh abnormalitas fenotip yang disebabkan karena terjadinya mutasi kromosom? Salah satu contohnya adalah seseorang penderita Cri-du-Chat yang kromosomnya mengalami delesi pada lengan pendek dari autosom no. 5. Penderita ini memiliki suara tangisan mirip bunyi kucing, muka lebar, kedua mata letaknya berjauhan dan mempunyai lipatan seperti pada Gambar 7.11.

Kwan & Lam, Biology a Course for o Level



Gambar 7.10 Lalat buah (*Drosophilla melanogaster*)



Gambar 7.11 Penderita Cri-du-Chat

Suryo, Genetika Manusia, hlm. 273

Diskusi

Telah dikemukakan bahwa kecepatan mutasi berlangsung relatif lambat. Nah, coba diskusikan dengan teman satu kelompok kalian kemudian presentasikan hasil diskusi kelompok kalian di depan kelas, mengenai keterkaitan antara kecepatan mutasi terhadap kecepatan berlangsungnya evolusi. Coba ingat kembali definisi evolusi.

b. Rekombinasi

Disamping mutasi, rekombinasi yang juga berperan dalam perubahan variasi genetik. Reproduksi yang terjadi secara seksual akan menghasilkan variabilitas genetik karena terjadinya rekombinasi dari kedua gamet induknya.

Mutasi gen tunggal tidak selalu menimbulkan perubahan genotip yang berarti, berbeda halnya jika mutasi didukung dengan rekombinasi. Rekombinasi meliputi hal-hal sebagai berikut:

- a. Pembentukan individu heterozigot
- b. Percampuran secara acak pada kromosom dari dua parental
- c. Terjadinya pindah silang (*crossing over*)

Kilas

Masih ingatkah kalian mengenai pindah silang (*crossing over*) pada bab Prinsip Hereditas? Pindah silang merupakan penukaran segmen dari kromatid-kromatid bukan kakak beradik dari sepasang kromosom homolog.

Jika hal-hal tersebut terjadi pada organisme mutan, akan semakin memperkuat variasi dari mutan tersebut. Dengan demikian, perubahan frekuensi gen ataupun kromosom akan semakin besar dalam suatu populasi. Untuk mengingat bahasan tentang rekombinasi, bukalah kembali bab tentang Prinsip Hereditas.

c. Hukum Hardy-Weinberg

Hardy adalah seorang ahli matematika dari Inggris, sedangkan Weinberg adalah seorang ahli fisika dari Jerman. Keduanya mencetuskan hukum kesetimbangan populasi berdasarkan analisis matematisnya. Hukum kesetimbangan tersebut dinamakan **Hukum Hardy-Weinberg**.

Hardy-Weinberg menyatakan bahwa frekuensi gen dalam suatu populasi akan selalu konstan dari generasi ke generasi berikutnya meskipun anggota populasi saling kawin secara acak. Bagaimanakah kesetimbangan tersebut dijelaskan secara matematis? Perhatikan dengan seksama uraian berikut.

Jika dalam suatu populasi terjadi perkawinan antara dua individu heterozigot (misal, Bb) maka kita akan menemukan 25 % dari keturunannya homozigot dominan (BB), 50 % heterozigot (Bb) seperti tetuanya dan 25 % homozigot resesif (bb). Perhatikan Diagram 1. Dalam individu ini frekuensi alel B adalah 50 % dan frekuensi alel b juga 50 %.

Jumlah keturunan tersebut jika ditambahkan hasilnya adalah:

$$Bb + Bb + bb = 0.25 + (0.25+0.25) + 0.25 = 1$$

Apabila dengan rumus matematis dapat dinyatakan dengan:

$$(p+q)^2 = p^2 + 2pq + q^2$$

$$p^2 = \% \text{ individu dominan homozigot}$$

$$p = \text{Frekuensi alel dominan}$$

$$q^2 = \% \text{ individu resesif homozigot}$$

$$q = \text{Frekuensi alel resesif}$$

$$2 pq = \% \text{ individu heterozigot}$$

Jika kita masukkan angkanya menjadi,

$$(0.5 + 0.5)^2 = 0.5^2 + 2 (0.5)(0.5) + 0.5^2 \\ = 0.25 + 0.5 + 0.25 = 1$$

Hasilnya masih konstan bukan? Dapat dirumuskan bahwa

$$\boxed{p^2 + 2 pq + q^2 = 1 \\ p + q = 1}$$

Perhatikan contoh penerapan Hukum Hardy-Weinberg untuk menghitung frekuensi gen dan frekuensi genotip berikut ini.

Pada suatu padang rumput terdapat populasi sapi yang berjumlah 10.000 ekor. Sebanyak 9984 ekor berwarna putih. Populasi tersebut berada dalam kesetimbangan. Tentukanlah:

- frekuensi gen warna putih dan coklat
- frekuensi genotip sapi warna putih dan coklat

Jawab:

Jumlah sapi adalah 10.000 ekor. Yang berwarna putih sebanyak 9984

Alel	B (0,5)	b (0,5)
B (0,5)	BB 0,5	Bb 0,25
b (0,5)	Bb 0,25	bb 0,25

Diagram 1. Persilangan dua individu heterozigot (Bb)

ekor, berarti yang berwarna coklat sebanyak 16 ekor.

Jika p = frekuensi untuk alel dominan S (putih)

q = frekuensi untuk alel resesif s (coklat) maka:

a. frekuensi gennya:

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

$$(S + s)^2 = SS + 2Ss + ss = 1$$

$$q^2 = 16 / 10.000 = 0,0016$$

$$q = \sqrt{0,0016} = 0,04$$

$$p = 1 - q = 1 - 0,04 = 0,96$$

Jadi frekuensi alel S (putih) = 0,96

frekuensi alel s (coklat) = 0,04

b. frekuensi genotip sapi warna putih dan warna coklat:

$$= (0,96 \times 0,96)p^2 + 2(0,96 \times 0,04)pq + (0,04 \times 0,04)q^2$$

$$= 0,9216 p^2 + 0,0768 pq + 0,0016 q^2$$

$$\text{Jadi } p^2 : 2pq : q^2 = 0,9216 : 0,0768 : 0,0016$$

$$= 576 : 48 : 1$$



Microsoft Encarta Premium 2006

Gambar 7.12 Populasi sapi warna putih dan coklat

Dengan demikian jelaslah bahwa kesetimbangan memang dapat terjadi meskipun individu-individu dalam populasi saling kawin secara acak. Akan tetapi, ada beberapa kondisi yang menjadi syarat agar prinsip kesetimbangan tersebut dapat tercipta. Syarat-syarat tersebut adalah:

- 1) Frekuensi gen jantan dan betina adalah sama
- 2) Tidak terjadi mutasi yang tak seimbang antar alel
- 3) Tidak terjadi aliran gen (*genetic flow*) baik ke luar ataupun ke dalam populasi yang akan mengubah frekuensi alel
- 4) Tidak terjadi seleksi alam yang menyebabkan suatu alel mengalahkan alel yang lain ataupun satu fenotip mengalahkan fenotip yang lain
- 5) Populasi cukup besar dan terjadi perkawinan secara acak

Jika Hukum Hardy-Weinberg berlaku, maka evolusi tidak terjadi.

Hal ini disebabkan karena evolusi terkait dengan perubahan frekuensi gen dan seleksi alam. Sedangkan Hukum Hardy-Weinberg menunjukkan suatu kesetimbangan dalam populasi yang akan selalu konstan.

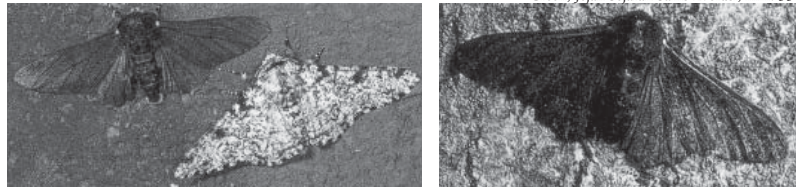
2. Seleksi Alam

Dalam teorinya, Darwin mengemukakan bahwa evolusi merupakan proses perjuangan untuk mempertahankan kelangsungan hidup

(*struggle for existence*). Organisme-organisme yang mampu bertahan dengan beradaptasi terhadap lingkungannya akan tetap hidup dan mewariskan keturunan, sedangkan organisme yang tidak mampu bertahan akan punah (*extinct*). Dapat disimpulkan bahwa organisme yang ada sekarang merupakan organisme yang nenek moyangnya dahulu dapat lolos dari seleksi alam.

Supaya kalian lebih mudah memahami tentang seleksi alam, simaklah contoh seleksi alam yang terjadi pada populasi kupu-kupu *Biston betularia* di Inggris berikut ini.

Green, Jejak Sejarah Sains Evolusi, hlm. 33



Gambar 7.13 (a) *Biston betularia* bersayap cerah, (b) *Biston betularia* bersayap gelap

Sebelum berkembangnya revolusi industri di Inggris, populasi *Biston betularia* yang bersayap terang jumlahnya lebih banyak dibandingkan dengan *Biston betularia* yang bersayap gelap. Namun setelah berkembangnya revolusi industri di Inggris, maka asap dan jelaga pabrik merubah habitat *Biston betularia* tersebut. Udara menjadi kotor, pohon-pohon menjadi berwarna gelap. Akibatnya populasi *Biston betularia* yang bersayap gelap lebih adaptif dengan lingkungannya, sedangkan *Biston betularia* bersayap terang kurang adaptif sehingga mudah ditangkap oleh predatornya.

Percobaan

Mempelajari Seleksi Alam

A. Dasar Teori

Seleksi alam adalah suatu teori yang menyatakan bahwa jika makhluk hidup tidak mampu beradaptasi dengan lingkungannya, maka lama kelamaan akan punah. Organisme yang tertinggal hanyalah mereka yang mampu beradaptasi dengan lingkungannya.

B. Tujuan

Memahami peristiwa seleksi alam melalui simulasi model

C. Alat dan Bahan

- | | |
|--|---------------|
| 1. Pelubang kertas | 5. Pensil |
| 2. Kertas Asturo warna merah, kuning dan hijau | 6. Stopwatch |
| 3. Kaleng/stoples | 7. Tali rafia |
| 4. Penggaris | |

D. Langkah Percobaan

1. Buatlah potongan kertas asturo dengan menggunakan pelubang kertas, masing-masing warna sebanyak 50 potongan.
2. Masukkan potongan kertas tersebut semuanya ke dalam kaleng kemudian kocok atau campur hingga homogen.
3. Tentukan daerah percobaan, misalnya padang rumput yang hijau. Buatlah petakan dengan menggunakan tali rafia seluas $2 \times 2 \text{ m}^2$.

4. Taburkan secara merata potongan kertas tadi ke dalam petakan.
5. Pungutlah kembali potongan kertas tadi selama 1,5 menit.
6. Hitunglah jumlah potongan kertas yang berwarna merah, kuning dan hijau yang berhasil dipungut. Masukkan ke dalam tabel berikut.

Tabel Hasil Percobaan

No	Macam Data	Kuning	Merah	Hijau	Keterangan
1.	Jumlah kertas sebelum diambil				
3.	Jumlah kertas yang tersisa				
2.	Jumlah kertas yang terambil				

E. Pembahasan

1. Apakah jumlah potongan kertas dari masing-masing warna yang terambil sama? Manakah yang paling banyak?
2. Mengapa warna tersebut paling banyak jumlahnya?
3. Apakah kemungkinan bila percobaan dilakukan di padang rumput yang kering dan tandus, hasilnya akan sama dengan percobaan yang dilakukan di padang rumput yang hijau?
4. Mengapa potongan kertas yang sudah ditaburkan pada petakan harus dipunguti kembali? Fungsinya untuk apa?
5. Simpulkan dan presentasikan hasil percobaan kalian.

a. Spesiasi

Masih ingatkah kalian bahwa hasil akhir dari proses evolusi adalah munculnya spesies baru yakni spesies yang memiliki karakter yang berbeda dengan induknya. Fenomena ini disebut sebagai **spesiasi**. Individu-individu penyusun populasi yang semula memiliki karakter yang sama, dalam kurun waktu dan sebab-sebab tertentu akhirnya memiliki karakter yang berbeda bahkan tidak dapat lagi saling mengadakan perkawinan. Individu-individu tersebut tidak dapat lagi disebut sebagai satu spesies karena menurut konsep biologi yang disebut sebagai spesies adalah individu-individu yang dapat saling melakukan perkawinan dan menghasilkan keturunan yang fertil.

Pernahklah kalian memikirkan mengapa katak tidak dapat kawin dengan ayam atau dengan ikan? Mengapa katak hanya dapat kawin dengan katak? Untuk memperoleh jawabannya, simaklah uraian berikut ini.

Di alam terdapat kondisi yang menyebabkan dua jenis anggota populasi tidak dapat saling kawin. Fenomena ini dikenal sebagai **isolasi reproduksi**. Mekanisme isolasi reproduksi terdiri dari:

- 1) **Isolasi habitat:** disebabkan karena kedua pasangan tidak saling bertemu, terhalang oleh faktor perbedaan habitat. Sebagai contoh dua spesies ular garter dari genus *Thamnophis* hidup di daerah yang sama, namun salah satunya lebih menyukai hidup di dalam air dan yang lain lebih menyukai hidup di darat. Oleh sebab itu, kedua spesies tersebut tidak pernah melakukan perkawinan.
- 2) **Isolasi perilaku:** terjadi karena perbedaan sinyal tingkah laku dalam menarik pasangan untuk melakukan perkawinan. Contohnya pada kunang-kunang betina hanya akan menanggapi respon untuk melakukan perkawinan dengan memancarkan sinarnya kembali kepada kunang-kunang jantan yang sejenis.



Gambar 7.14 Ular *Thamnophis*

Microsoft Encarta Premium 2006

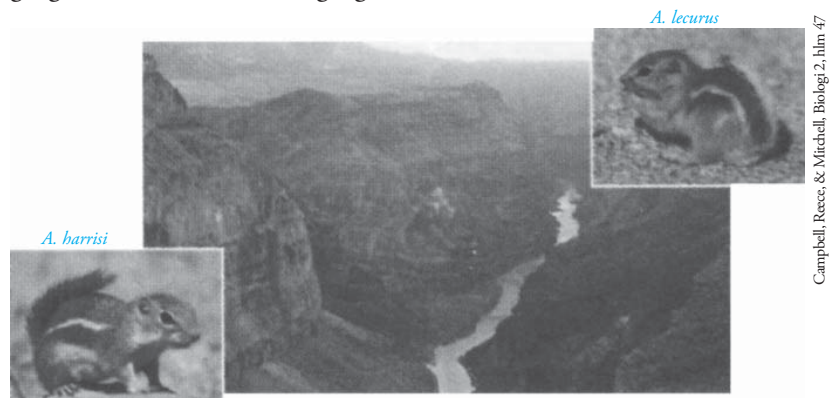
- 3) Isolasi mekanik: pasangan saling bertemu tetapi tidak terjadi transfer gamet karena struktur anatomi alat reproduksi dari masing-masing individu berbeda.
- 4) Isolasi musim: terjadi karena perbedaan waktu pematangan gamet.
- 5) Isolasi gamet: kemungkinan gamet-gamet dapat bertemu tetapi tidak dapat melakukan pembuahan, disebabkan karena gamet jantan tidak mempunyai viabilitas dalam alat kelamin betina yang berbeda spesiesnya.
- 6) Terbentuknya bastar mandul: zigot hasil pembuahan mampu berkembang menjadi embrio hingga dewasa tetapi bersifat steril.
- 7) Terbentuknya bastar mati bujang: seperti pada bastar mandul, tetapi keturunan tersebut tidak mampu bertahan hidup.

Isolasi habitat, isolasi perilaku, isolasi mekanik, isolasi musim dan isolasi gamet merupakan isolasi reproduksi yang terjadi sebelum terbentuknya zigot (prazigotik). Sedangkan terbentuknya bastar mandul dan bastar mati bujang merupakan isolasi reproduksi yang terjadi setelah terbentuknya zigot (postzigotik).

Isolasi reproduksi antar dua jenis anggota populasi dapat terjadi pada dua jenis populasi yaitu:

1) Populasi Alopatrik

Kedua jenis anggota populasi ini tidak dapat bertemu karena adanya penghalang geografis. Sebagai contoh adalah tupai antelope yang menempati sisi tebing yang berlawanan di Grand Canyon, Amerika Serikat. Pada tebing selatan dihuni oleh tupai *Ammospermophilus harrisi*, sedangkan pada sisi tebing sebelah utara dihuni oleh *Ammospermophilus leucurus*. Kedua populasi ini terisolir sehingga tidak dapat melakukan perkawinan. Isolasi reproduksi yang terjadi karena terhalang oleh kondisi geografis dinamakan isolasi geografis.



Gambar 7.15 Spesiasi alopatrik tupai antelope di Grand Canyon

2) Populasi Simpatrik

Pada populasi simpatrik kedua populasi berada pada kisaran geografis yang sama akan tetapi tidak dapat saling kawin karena adanya perbedaan fisiologi atau genetik. Contoh populasi simpatrik pada genus *Taricha* (Salamander). Salamander dari California dan salamander

Pasifik dapat bertemu di California tengah, tetapi keduanya tidak dapat saling kawin. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain: perbedaan perilaku kawin, perbedaan penyimpanan telur serta pola perkembangan dari kedua Salamander tersebut.

Implikasi atau dampak spesiasi dapat diamati pada usaha domestikasi hewan atau tumbuhan. Telah dijelaskan sebelumnya bahwa domestikasi dapat menghasilkan individu (kultivar) baru. Misalnya budidaya tanaman yang menghasilkan buah semangka tanpa biji dan domestikasi anjing. Ras anjing jantan *Chow-chow* yang berukuran besar dapat dikawinkan dengan ras anjing betina *poodle* yang berukuran kecil. Perhatikan Gambar 7.16.



(a)



(b)

Gambar 7.16 (a) Ras anjing jantan *Chow-chow*, (b) Ras anjing betina *Poodle*

Microsoft Encarta Premium 2006

www.breedersclub.net

Uji Kompetensi

Kerjakanlah soal-soal berikut ini.

1. Jelaskan variasi yang mungkin terjadi karena mutasi gen dan mutasi kromosom.
2. Bagaimanakah Hukum Hardy-Weinberg menjelaskan peristiwa evolusi?
3. Sebutkan dan jelaskan kondisi-kondisi yang harus ada agar kesetimbangan Hardy-Weinberg dapat tercipta.
4. Mekanisme terjadinya evolusi dapat disebabkan oleh peristiwa rekombinasi. Bagaimanakah rekombinasi memengaruhi perubahan populasi?
5. Jelaskan yang dimaksud dengan populasi alopatrik. Sebutkan contohnya.

Ikhtisar

1. Evolusi merupakan suatu proses perubahan makhluk hidup dari waktu ke waktu menuju ke arah kesempurnaan.
2. Tokoh evolusi pertama yang gagasannya dapat diterima oleh kalangan luas adalah Charles Darwin. Pokok-pokok evolusi menurut Darwin adalah:
 - a) Spesies yang hidup pada masa ini berasal dari spesies yang hidup pada masa lampau.
 - b) Evolusi terjadi melalui mekanisme seleksi alam.
3. Peristiwa evolusi dapat dibuktikan dengan hasil studi dari berbagai bidang ilmu yang meliputi: anatomi perbandingan, embriologi, paleontologi, perbandingan biokimia, biogeografi serta domestikasi.
4. Mekanisme evolusi dapat terjadi karena beberapa kondisi yang mendukung yaitu: variasi genetik yang disebabkan oleh mutasi dan rekombinasi serta peristiwa seleksi alam.
5. Menurut Hardy-Weinberg frekuensi gen dalam suatu populasi akan selalu konstan dari generasi ke generasi berikutnya asalkan dipenuhi beberapa persyaratan yaitu tidak terjadinya mutasi, seleksi alam dan aliran gen (*genetic flow*), terjadi perkawinan acak, populasi besar dan frekuensi antara gen jantan dan betina sama.
6. Spesiasi merupakan peristiwa terbentuknya spesies baru yang berbeda dari nenek moyangnya.
7. Mekanisme isolasi reproduksi dapat terjadi melalui isolasi habitat, isolasi musim, isolasi tingkah laku, isolasi mekanik, isolasi gamet, terbentuknya bastar mandul dan terbentuknya bastar mati bujang.

Biogeografi Salah satu cabang biologi yang mempelajari distribusi atau penyebaran makhluk hidup

Domestikasi Pembudidayaan hewan atau tumbuhan dengan tujuan untuk kepentingan manusia

Filogenetik Kemiripan antar organisme berdasarkan hubungan kekerabatan

Kultivar Tumbuhan hasil pembudidayaan oleh manusia yang memiliki sifat berbeda dengan induknya

Mikroevolusi Perubahan dari generasi ke generasi dalam frekuensi alel atau genotip

Mutasi Perubahan materi genetik yang mengakibatkan terjadinya perubahan karakter dan diwariskan pada keturunannya.

Paleontologi Cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang fosil

Rekombinasi Percampuran dengan cara pertukaran kromosom pada waktu pembelahan meiosis dalam satu perkawinan silang dan menimbulkan genotip baru.

Seleksi alam Terpilihnya anggota spesies dari populasi untuk hidup pada suatu tempat tertentu

Struktur Vestigial Struktur atau organ yang mengalami penyusutan dan tidak memiliki fungsi khusus tetapi masih dapat dijumpai

Variasi Keanekaragaman dalam satu spesies/satu keturunan

Ulangan Harian

A Pilihlah satu jawapan yang paling tepat.

- Jerapah yang sekarang berleher panjang disebabkan karena penyesuaiannya terhadap persediaan makanan. Pernyataan ini dikemukakan oleh
 - Charles Darwin
 - Herbert Spencer
 - J. B. Lamarck
 - Charles Lyell
 - Hardy Weinberg
- Persamaan pandangan tentang evolusi antara Charles Darwin dan J.B. Lamarck adalah
 - adanya seleksi alam
 - makhluk hidup mengalami perubahan dari waktu ke waktu yang mengarah kepada kesempurnaan
 - makhluk hidup harus beradaptasi agar dapat mempertahankan eksistensi dirinya
 - evolusi terjadi karena adanya peristiwa mutasi
 - makhluk hidup yang ada sekarang berasal dari makhluk hidup pada masa lampau
- Seleksi alam menurut Darwin adalah
 - individu yang dapat bersaing dan menyesuaikan diri dengan lingkungannya akan bertahan dan mampu berkembang biak
 - munculnya individu baru dalam populasi yang berubah frekuensi gennya
 - perubahan frekuensi gen, alel atau kromosom secara spontan
 - individu harus menyesuaikan diri dengan lingkungannya agar dapat bertahan
 - ciri makhluk hidup yang ada sekarang merupakan pewarisan dari nenek moyangnya
- Weismann adalah seorang ahli yang menentang teori pewarisan keturunan pada organisme yang mengalami perubahan secara morfologi. Percobaan yang dilakukannya adalah dengan
 - mengawinkan dua ekor lalat buah heterozigot
 - mengawinkan dua ekor tikus yang tidak dipotong ekornya

- c. mutasi bersifat menguntungkan
 d. mutasi dapat terjadi pada tingkat gen dan juga tingkat kromosom
 e. perubahan yang terjadi karena mutasi diwariskan kepada keturunannya sehingga menimbulkan perubahan anggota populasi
14. Perubahan frekuensi kromosom secara spontan pada suatu populasi disebut
 a. rekombinasi
 b. mutasi gen
 c. mutasi kromosom
 d. seleksi alam
 e. variasi
15. Berikut ini contoh struktur vestigial, **kecuali**
 a. umbai cacing
 b. tulang ekor pada manusia
 c. sayap burung penguin
 d. sayap burung kiwi
 e. tulang ekor pada reptil
16. Hukum kesetimbangan populasi dikemukakan oleh
 a. Hardy-Weimberg
 b. Weismann
 c. Charles Darwin
 d. J.B Lamarck
 e. Charles Lyell
17. Seleksi buatan hampir sama dengan seleksi alam dalam hal proses
 a. didukung oleh Darwin
 b. adaptasi spesies dengan lingkungannya
 c. terjadi selama lebih dari jutaan tahun
 d. bergantung pada variasi antar individu
 e. dipengaruhi campur tangan manusia
18. Mekanisme evolusi dapat dijelaskan dengan Hukum Kesetimbangan Hardy-Weinberg. Di bawah ini merupakan prinsip-prinsip Hukum Hardy-Weinberg serta kondisi yang dapat mengarahkan kepada kesetimbangan Hardy-Weinberg, **kecuali**
 a. populasi cukup besar
 b. frekuensi gen pada anggota populasi jantan dan betina adalah sama
 c. tidak terjadi migrasi keluar ataupun masuk populasi yang akan mengubah frekuensi alel
 d. terjadi perkawinan acak
 e. terjadi mutasi
19. Suatu anggota populasi di wilayah yang terpencil tidak dapat kawin dengan anggota populasi di wilayah lainnya disebabkan oleh peristiwa isolasi
 a. geografis
 b. genetik
 c. reproduksi dalam
 d. gamet
 e. mekanik
20. Perkawinan antar-anggota populasi dapat terhalang karena faktor-faktor dibawah ini, **kecuali** isolasi
 a. geografi
 b. habitat
 c. mekanik
 d. perkembangan
 e. isolasi perilaku

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. Bagaimanakah pengalaman Darwin selama pelayarannya telah memengaruhi pandangannya terhadap spesies?
2. Bagaimanakah keturunan yang telah mengalami modifikasi menjelaskan keanekaragaman makhluk hidup?
3. Jelaskan bagaimana pembentukan fosil menggambarkan catatan kehidupan masa lampau secara kronologis.
4. Bagaimanakah kegunaan bukti-bukti dari DNA dalam memahami evolusi spesies?
5. Apakah yang dimaksud dengan mikroevolusi?
6. Bagaimanakah serangga yang tahan pestisida menjadi contoh seleksi alam?
7. Bagaimanakah seleksi alam mengarahkan kepada adaptasi?
8. Jelaskan mekanisme terjadinya spesiasi.
9. Jelaskan mekanisme terjadinya isolasi reproduksi.
10. Jelaskan perbedaan antara populasi alopatrik dan simpatrik.

B a b VIII

Kecenderungan Baru Teori Evolusi



www.pierligisurance.com

Hamparan pasir meluas, semburat jingga matahari yang hampir tenggelam di batas horizon. Tuhan itu Mahaindah, dan Dia mencintai keindahan. Maka, begitu banyak ciptaan-Nya yang indah luar biasa. Lanskap pantai berlatar *sunset* seperti pada gambar di atas hanyalah secuil contohnya.

Melihat pemandangan alam yang demikian indah, apakah kalian berpikir bahwa keadaan alam ini tetap menakjubkan dari dulu hingga sekarang? Apakah bumi beserta isinya tak mengalami perubahan dari waktu ke waktu? Ternyata tidak begitu. Bumi senantiasa berubah. Lalu seperti apa dan sejauh apa perubahan itu terjadi? Bab ini akan menerangkannya, lengkap untuk kalian.

Kata Kunci

- Abiogenesis
- Biogenesis
- Evolusi biokimia
- *Generatio spontanea*
- Harun Yahya

Pada bahasan berikut, kalian diajak untuk mendalami ulasan mengenai kecenderungan baru Teori Evolusi. Sebelum mempelajari bahasan tersebut, terlebih dahulu akan dibahas teori asal usul bumi dan kehidupan yang merupakan mata rantai dari evolusi makhluk hidup.

Setelah mempelajari uraian pada bab ini, diharapkan kalian mampu menjelaskan asal usul kehidupan di bumi secara ilmiah dari berbagai teori, dan mencermati pandangan baru tentang perkembangan Teori Evolusi. Nah, simaklah uraiannya berikut ini.

A. Asal Usul Bumi dan Kehidupan

Adanya kehidupan pasti didahului oleh adanya bumi yang merupakan tempat tinggal makhluk hidup. Berikut akan diuraikan mengenai teori asal usul bumi dan asal usul kehidupan.

1. Teori Asal Usul Bumi

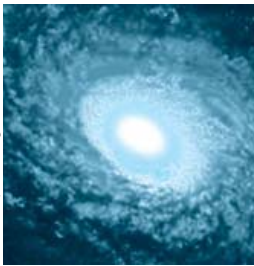
Berdasarkan penanggalan batu yang dibawa oleh misi Apollo dari bulan, diketahui bahwa bumi telah berusia 4,5 milyar tahun. Sedangkan jagad raya telah berumur kurang lebih 8-12 milyar tahun. Bagaimanakah awal mula peristiwa terbentuknya bumi?

Para pakar geologi dan astronomi berpendapat bahwa bumi terbentuk dari bermilyar-milyar bintang yang tidak stabil. Ketidakstabilan tersebut menyebabkan bintang-bintang saling bertabrakan dan akhirnya terjadi ledakan. Ledakan tersebut menyebabkan terbentuknya gas dan debu hingga membentuk kabut yang sangat tebal. Semakin lama kabut tersebut akan mengalami kondensasi hingga akhirnya meledak dan menghasilkan bintang-bintang dan planet-planet termasuk bumi. Teori ini dikenal dengan **Teori Kabut/Nebula**.

Teori lain mengungkapkan bahwa pada awalnya benda-benda yang ada di angkasa mengalami pemanasan dan membentuk satu volume. Karena pemanasan tersebut disertai tekanan, maka terjadi ledakan yang maha dahsyat. Ledakan tersebut menghasilkan bintang yang berasal dari kondensasi gas dan debu hasil ledakan. Bintang tersebut selanjutnya meledak lagi dan terbentuklah planet-planet termasuk bumi. Teori ini dikenal dengan **Teori Big Bang**.

Pada waktu pertama kali terbentuk, bumi masih dalam keadaan sangat panas. Setelah mengalami berbagai proses, akhirnya bumi mendingin dan terbentuklah lapisan-lapisan bumi. Barulah kemudian samudera, sungai dan danau terisi air. Dapatkah kalian membayangkan bagaimana kondisi bumi pada waktu itu?

Lalu kapankah kehidupan dimulai? Bagaimana proses terbentuknya kehidupan tersebut? Simaklah uraian mengenai teori asal usul kehidupan berikut ini.



www.thekeyboard.org.uk

Gambar 8.1 Terbentuknya bumi menurut Teori Nebula

Galeri

Tahukah kalian? Bumi yang kita tempati ini memiliki keliling 40.075 km dan berat sekitar $6 \cdot 10^{21}$ ton.

Williams, Ensiklopedia Bumi Kita



Gambar 8.2 Kondisi bumi sebelum adanya kehidupan

2. Teori Asal Usul Kehidupan

Pertanyaan tentang asal usul kehidupan merupakan suatu pertanyaan yang memerlukan jawaban kompleks. Oleh karenanya, para ahli melakukan berbagai usaha untuk menjawab pertanyaan tersebut sesuai dengan tingkat pengetahuan dan peradaban pada masanya. Di antara berbagai teori yang diajukan antara lain:

a. Teori Abiogenesis

Teori Abiogenesis disebut juga Teori *Generatio Spontanea*, merupakan teori tentang asal usul kehidupan yang pertama kali muncul. *Generatio spontanea* berarti penciptaan yang terjadi secara spontan. Artinya bahwa kehidupan berasal dari benda tak hidup yang terjadi secara spontan. Teori ini diajukan oleh **Aristoteles** pada tahun 384 – 322 SM. Aristoteles menyatakan bahwa kehidupan berasal dari benda tak hidup yang terjadi secara spontan. Teori ini dikemukakan oleh Aristoteles berdasarkan pengamatan adanya larva lalat yang muncul secara tiba-tiba pada daging yang busuk. Aristoteles berkesimpulan bahwa larva lalat tersebut berasal dari daging yang busuk.

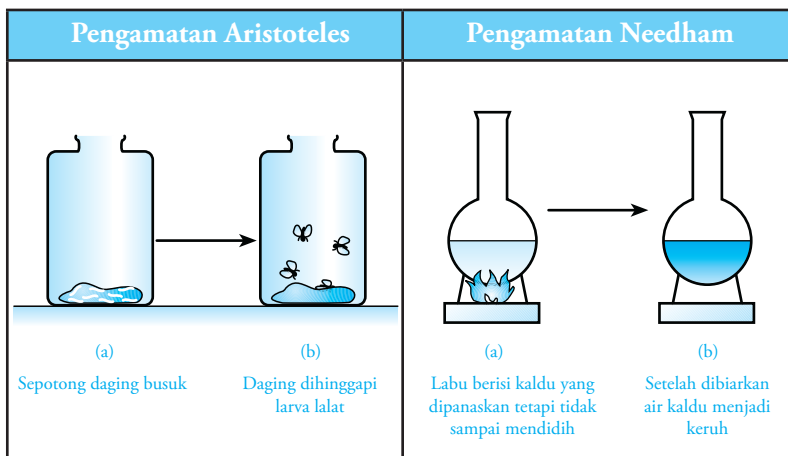
Pada tahun 1713-1781 **John Needham** melakukan percobaan dengan mengisi beberapa labu tertutup dengan kaldu daging, kemudian dipanaskan tetapi tidak sampai mendidih. Selanjutnya labu tersebut ditutup dan disimpan pada suhu kamar. Setelah beberapa hari, ternyata semua labu menjadi keruh yang menunjukkan bahwa di dalam labu sudah berisi mikrobia. Berdasarkan hasil percobaannya, Needham menyimpulkan bahwa mikrobia yang menyebabkan kekeruhan dalam labu berasal dari kaldu daging yang disiapkan. Berdasarkan percobaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa kehidupan berasal dari benda mati.

Galeri

Pembentukan Permukaan Bumi

Pada abad keenam SM, Anaximander (610-546 SM) berpendapat bahwa air membantu pembentukan permukaan bumi. Sungai mengendapkan lumpur di muara dan membentuk delta. Berbeda dengan Anaximander, Strabo (64-23 SM) mengatakan bahwa gempa dan letusan gunung berapi membantu pembentukan daratan.

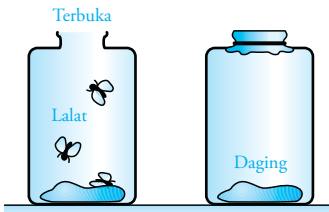
Green, Jejak Sejarah Sains evolusi



Gambar 8.3 Bukti-bukti Teori Abiogenesis

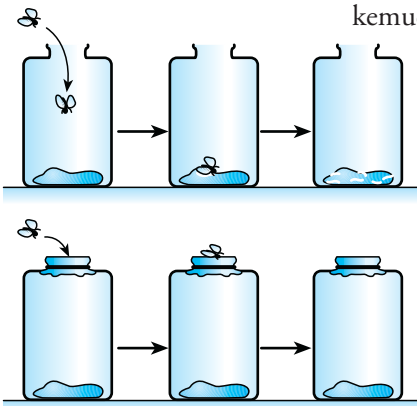
b. Teori Biogenesis

Meskipun mendapat dukungan dari Needham, Teori Abiogenesis juga mendapat bantahan dari ahli-ahli lain seperti **Francesco Redi** (1627- 1697), **Lazarro Spallanzani** (1729 – 1799) dan juga **Louis Pasteur** (1822 – 1895). Para ahli tersebut masing-masing memiliki pendapat yang berbeda berdasarkan hasil pengamatannya, namun secara umum mereka mengungkapkan bahwa kehidupan berasal dari kehidupan.



Gambar 8.4 Percobaan Redi yang pertama

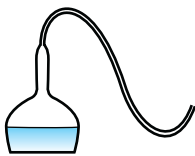
Francesco Redi melakukan percobaan dengan memasukkan daging ke dalam dua stoples. Stoples yang satu ditutup dengan kertas dan yang lainnya dibiarkan terbuka. Kedua stoples tersebut dibiarkan selama sehari-hari. Setelah diamati terbukti bahwa pada stoples yang dibiarkan terbuka didapati adanya larva lalat, sedangkan pada stoples yang tertutup tidak terdapat larva lalat. Menurut Redi, hal ini terjadi karena stoples yang dibiarkan terbuka telah dimasuki telur lalat yang kemudian menetas menjadi larva lalat.



Gambar 8.5 Percobaan Redi yang kedua

Para ahli pendukung Teori Abiogenesis tidak menerima percobaan yang dilakukan Redi, dengan alasan bahwa larva lalat tidak dapat tumbuh pada stoples yang ditutup rapat karena tidak adanya sirkulasi udara untuk pernapasan. Untuk mempertahankan gagasannya, Redi melakukan percobaan yang kedua dengan meletakkan daging pada stoples yang ditutup kain kasa dengan tujuan agar terjadi sirkulasi udara. Setelah dibiarkan beberapa hari, ternyata banyak larva lalat yang tumbuh pada permukaan kain kasa dibandingkan pada daging. Hal ini terjadi karena banyak telur lalat yang tertahan pada kain kasa. Larva lalat yang tumbuh pada daging berasal dari telur lalat yang jatuh, sehingga jumlahnya lebih sedikit.

Lazarro Spallanzani (1729-1799) mencoba memperbaiki percobaan yang dilakukan Needham yakni dengan memanaskan labu yang berisi kaldu dalam waktu yang lebih lama hingga mendidih. Labu tersebut ditutup dengan cara melelehkan leher labu, kemudian ditutup sehingga benar-benar rapat. Hasilnya air kaldu tetap jernih, yang berarti bahwa tidak terdapat mikrobia meskipun dibiarkan sampai beberapa hari. Berdasarkan percobaannya, Spallanzani menyimpulkan bahwa kehidupan bukan berasal dari air kaldu.



Gambar 8.6 Labu leher angsa yang digunakan oleh Pasteur

Louis Pasteur (1822–1895) melakukan percobaan dengan menggunakan labu yang ujungnya kecil dan tertekuk, berbentuk huruf S seperti leher angsa yang panjang seperti pada Gambar 8.6.

Dengan cara seperti itu, mikrobia dan debu tidak dapat masuk ke dalam gelas karena akan tertahan pada dasar leher, sedangkan udara tetap dapat masuk ke dalam labu. Setelah leher angsa tersebut dipecahkan pada bagian yang melengkung, dalam sehari kaldu tersebut berubah warna menjadi keruh karena di dalamnya telah ditumbuhi mikrobia.

Louis Pasteur telah membuktikan kelemahan Teori *Generatio Spontanea* dan menyimpulkan bahwa di udara terdapat mikrobia yang dapat masuk ke dalam media gelas/stoples jika terdapat lubang untuk masuk. Dari bantahannya tersebut, Louis Pasteur merumuskan Teori Biogenesis yaitu *omne vivum ex ovo* (kehidupan berasal dari telur), *omne ovum ex vivo* (telur berasal dari kehidupan) dan *omne vivum ex vivo* (kehidupan berasal dari kehidupan sebelumnya).

Meskipun penelitian Pasteur dan Spallanzani telah menggugurkan Teori Abiogenesis, namun mereka belum dapat menjelaskan Teori Biogenesisnya tersebut secara ilmiah. Akibatnya muncul dilema dalam memahami asal usul kehidupan pada waktu itu. Pada akhirnya, muncul teori baru yang dikemukakan oleh **Alexander Ivanovich Oparin** seorang ahli biokimia pada tahun 1936. Teorinya mendapat dukungan dari ahli-ahli lain dan dikenal dengan istilah **Teori Evolusi Biokimia** yang merupakan teori modern tentang asal usul kehidupan.

c. Teori Evolusi Biokimia

Teori ini menjelaskan asal usul kehidupan dari perubahan kimia di alam yang dilanjutkan dengan evolusi biologi. Menurut Oparin, kehidupan berasal dari benda mati yang selanjutnya mengalami perubahan (evolusi), hingga terbentuklah kehidupan.

Ahli lain yang mendukung teori Oparin adalah seorang pakar genetika dari Inggris yang bernama **Haldane**. Oparin dan Haldane membuat postulat bahwa kondisi bumi yang primitif memungkinkan terjadinya reaksi kimia untuk mensintesis senyawa organik dari prekursor anorganik yang terdapat pada atmosfer dan lautan purbakala. Hal ini tidak dapat terjadi pada kondisi bumi modern karena pada bumi modern terdapat banyak kandungan atmosfer hasil fotosintetik. Oparin dan Haldane membayangkan bahwa kondisi kimia bumi yang primitif kaya akan sumber daya energi yang diperlukan untuk sintesis molekul organik dari bahan-bahan anorganik.

Atmosfer bumi mengandung zat anorganik berupa uap air (H_2O), amonia (NH_4), karbondioksida (CO_2) dan metana (CH_4). Zat-zat anorganik tersebut kemudian berakumulasi membentuk *primordial soup* yang selanjutnya menjadi awal mula terbentuknya zat organik sederhana (monomer). Monomer-monomer yang sejenis akan menggabungkan diri membentuk polimer, misalnya karbohidrat, lemak, protein dan asam nukleat.

Polimer-polimer tersebut kemudian bergabung menjadi senyawa kompleks yang bersifat sementara, dan disebut sebagai *protobion*. Menurut Oparin, protobion merupakan bentuk pertama kehidupan. Meskipun bentuk pertama ini jelas lebih sederhana jika dibandingkan dengan organisme yang ada saat ini, namun proses metabolisme, pertumbuhan, perkembangbiakan, serta tanggapan terhadap lingkungan yang menjadi ciri-ciri makhluk hidup telah ditunjukkan.

Galeri

Alexander Oparin (1894-1980) adalah seorang ahli biokimia berkebangsaan Rusia. Tahun 1917 Oparin menyelesaikan studinya di Universitas Moscow dan menjadi profesor biokimia pada tahun 1927. Oparin merupakan salah satu ahli yang mengungkapkan asal usul kehidupan dari sudut pandang fisika dan kimia.

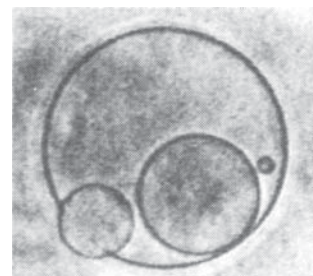
Microsoft Encarta Premium 2006

Galeri

Komposisi Atmosfer

Komposisi penyusun atmosfer pada zaman sekarang berbeda dengan masa lampau. Pada zaman sekarang, atmosfer tersusun dari gas Nitrogen (78,08%), Oksigen (20,94%), Karbondioksida (0,03%), dan Argon serta gas-gas lain (95%).

Hewitt, Menjelajahi dan Mempelajari Bumi dan Ruang Angkasa



Gambar 8.7 Protobion

Campbell, Reece, & Mitchell: Biologi 2, hlm. 97

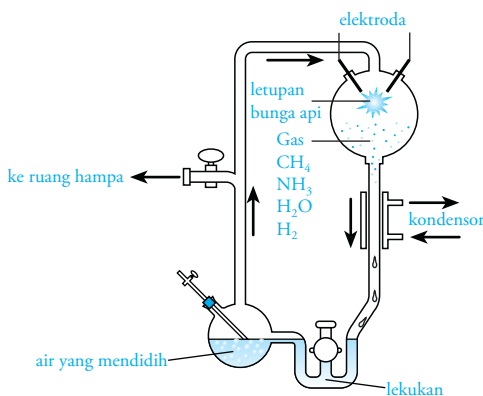
Secara rinci menurut Oparin dan Haldane, tahapan evolusi biokimiawi sampai terbentuknya organisme pertama terjadi melalui empat tahapan, yaitu:

- Sintesis abiotik (benda tak hidup) dan akumulasi molekul organik kecil atau monomer seperti asam amino dan nukleotida.
- Penyatuan monomer-monomer menjadi polimer, termasuk protein dan asam nukleat.
- Agregasi molekul yang diproduksi secara abiotik menjadi *droplet*/ tetesan yang disebut protobion yang memiliki karakteristik yang berbeda dengan lingkungan sekitarnya.
- Munculnya faktor hereditas yang diduga telah berlangsung sebelum tahapan *droplet* atau tetesan.

Diskusi

Para ahli yang mencoba mengungkapkan ataupun membantah teori asal usul kehidupan, masing-masing memiliki pendapat yang berbeda. Pendapat tersebut bersifat mendukung ataupun membantah. Mengapa terjadi demikian? Bagaimanakah masing-masing ahli membuktikan teori ataupun bantahannya? Postulat manakah yang mendekati kebenaran? Lakukanlah diskusi kelompok untuk membahas permasalahan tersebut kemudian sampaikanlah hasil diskusi kelompok kalian di depan guru dan teman sekelas.

Untuk memastikan kebenaran postulat Oparin dan Haldane, pada tahun 1953 **Stanley Miller** dan **Harold Urey** melakukan uji coba di laboratorium untuk mensintesis molekul organik secara abiotik. Dengan menggunakan alat khusus yang dibuatnya, Miller menciptakan simulasi kondisi bumi primitif dengan menggunakan peralatan seperti pada Gambar 8.8.

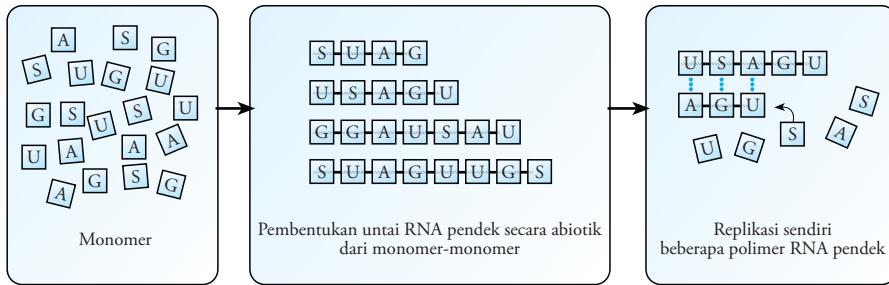


Gambar 8.8 Peralatan yang dirancang oleh Miller-Urey

Atmosfer diciptakan dengan menyediakan gas-gas yang banyak terdapat di bumi pada waktu awal mula pembentukannya. Gas-gas tersebut di antaranya adalah H_2O (uap air), H_2 (hidrogen), CH_4 (metana), dan NH_3 (ammonia). Dengan menggunakan alat khusus yang dibuat oleh Miller dan Urey, dihasilkan berbagai jenis asam amino dan senyawa organik lain yang banyak terdapat di dalam tubuh organisme dengan melewati energi listrik bertegangan tinggi pada perangkat alat tersebut sebagai pengganti energi halilintar di bumi.

Dengan memodifikasi susunan atmosfer pada percobaan Miller-Urey, dihasilkan 20 jenis asam amino antara lain glisin, alanin, valin, prolin, asam aspartat, dan asam glutamat serta beberapa jenis gula, lipid, basa purin dan pirimidin yang terdapat dalam nukleotida (DNA dan RNA) dan ATP (setelah ditambahkan fosfat ke dalam tabung reaksi). Berdasarkan hasil percobaan tersebut, terbukti bahwa zat organik dapat terbentuk dari zat anorganik secara spontan.

Sebuah hipotesis penting yang juga telah diuji kebenarannya di laboratorium adalah bahwa bahan genetik yang pertama kali muncul adalah RNA (asam ribose nukleat). Mengapa bukan DNA? Para ahli berpendapat bahwa DNA strukturnya lebih kompleks dan stabil. Untaian pendek RNA tersebut mampu mereplikasikan diri secara abiotik. Perhatikan tahapan replikasi RNA secara abiotik seperti pada Gambar 8.9.



Gambar 8.9 Peralatan yang dirancang oleh Miller-Urey

Hipotesis ini didukung oleh penelitian selanjutnya yang berhasil menemukan bahwa RNA bersifat **autokatalitik** yang artinya RNA dapat bekerja sebagai katalis dalam sel untuk membentuk RNA baru yang sama dengan RNA asalnya. Dengan demikian, tanpa adanya enzim dan DNA, molekul RNA mampu mereplikasikan diri.

Selanjutnya, dari replikasi-replikasi RNA tersebut terbentuklah DNA yang merupakan tempat penyimpanan informasi genetik yang lebih stabil daripada RNA. Setelah terbentuk DNA, RNA beralih fungsi hanya sebagai perantara dalam translasi (penerjemahan) kode genetik. Pertanyaan yang muncul, bagaimanakah mekanisme terjadinya DNA dari RNA?

Suatu kesalahan dalam replikasi dapat menghasilkan molekul yang melipat. Molekul tersebut menjadi suatu bentuk yang lebih stabil dibanding RNA. Peristiwa tersebut diduga telah menjadi awal terbentuknya DNA dari RNA. Nah, seperti itulah tahapan terbentuknya kehidupan. Teori inilah yang lebih dikenal sebagai teori modern tentang asal usul kehidupan.

Kilas

Masih ingatkah kalian mengapa DNA lebih kompleks daripada RNA? Pada bab Genetika telah diuraikan bahwa DNA strukturnya berupa *double helix* (tangga tali berpilin ganda), sedangkan RNA strukturnya berupa rantai tunggal.

Telisik

Untuk melengkapi wawasan kalian tentang teori asal usul kehidupan, lakukanlah kajian literatur bersama kelompok kalian untuk menemukan pandangan-pandangan lain tentang asal usul kehidupan di muka bumi ini. Jangan lupa untuk mencantumkan juga biografi tokoh yang mengungkapkannya. Kalian dapat juga menelusuri lewat internet untuk memperkuat apa yang telah kalian temukan dalam buku-buku teks. Kumpulkanlah hasil kerja kalian dalam bentuk makalah.

Nah, selanjutnya untuk menguji pemahaman kalian mengenai materi yang telah kita bahas pada subbab di atas, selesaikanlah *Uji Kompetensi* berikut ini secara mandiri.

Uji Kompetensi

Selesaikan soal berikut dengan tepat.

1. Bagaimanakah penjelasan teori pertama yang muncul tentang asal usul kehidupan?
2. Bagaimanakah Stanley Miller menguji teori asal usul kehidupan secara eksperimental?
3. Bagaimanakah tahap-tahap terbentuknya kehidupan berdasarkan teori evolusi biokimiawi?
4. Berdasarkan teori modern, asal usul kehidupan serta bukti-bukti yang mendukungnya, bagaimanakah batasan arti hidup dan kehidupan? Jelaskan.

Teori Evolusi biokimia merupakan teori yang masih diyakini para ilmuwan. Teori tersebut selaras dengan pandangan Darwin mengenai proses evolusi kehidupan. Sebagaimana pandangan tokoh-tokoh evolusi terdahulu, teori asal usul kehidupan juga mendapat tanggapan dari berbagai kalangan. Lalu bagaimanakah perkembangan Teori Evolusi saat ini? Pada subbab berikut, akan diuraikan kecenderungan baru yang muncul dalam Teori Evolusi. Ikutilah pembahasannya berikut ini.

B. Kecenderungan Baru Teori Evolusi

Pandangan Darwin mengenai evolusi merupakan teori yang belum terbantahkan secara ilmiah. Dalam perkembangannya, muncul kecenderungan dari sekelompok orang yang menolak Teori Evolusi Darwin. Seperti yang telah diuraikan dalam kajian tentang pro dan kontra evolusi, kaum agamawan cenderung menolak paham evolusi Darwin dengan mengajukan paham yang dianutnya yaitu paham penciptaan (**kreasionisme**). Dalam paham tersebut diungkapkan bahwa setiap makhluk yang ada di alam ini diciptakan oleh Tuhan Yang Maha Esa. Seorang tokoh agamawan yang sangat terkenal dalam memperjuangkan paham tersebut adalah **Harun Yahya** melalui karyanya yang berjudul **Keruntuhan Teori Evolusi**.

Nah, bagaimanakah pandangan kaum agamawan terhadap Teori Evolusi tersebut? Argumen apa yang dapat menguatkan pandangan Harun Yahya dan Charles Darwin tentang Teori Evolusi? Untuk memahaminya, simaklah uraian berikut dengan cermat.

1. Pandangan Baru Teori Evolusi

Seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang biologi molekuler, Teori Evolusi pun berkembang mengikuti perkembangan penelitian yang dilakukan para ahli biologi molekuler. Perkembangan tersebut mengarahkan kepercayaan para ilmuwan kepada Teori Evolusi Biokimia kehidupan.

Masih ingatkah kalian mengenai Teori Evolusi Biokimia yang telah dipelajari pada sub bab sebelumnya? Teori Evolusi Biokimia menyatakan bahwa kehidupan berasal dari bahan anorganik yang mengalami perubahan menjadi bahan organik. Perubahan-perubahan secara kimiawi terjadi dari waktu ke waktu hingga terbentuklah kehidupan yang

Galeri

Keterbukaan Memahami Fakta Evolusi

Inter Academy Panel on International Issues (IAP), mengeluarkan pernyataan bersama mengenai pendidikan evolusi. Pernyataan AIP menggarisbawahi fakta berdasarkan bukti bahwa evolusi bumi serta kehidupan di planet ini sudah ditetapkan melalui banyak pengamatan dan hasil penelitian dari bermacam-macam disiplin ilmu pengetahuan, namun belum pernah ada bukti-bukti ilmiah yang mampu menjelaskannya.

Kompas, 26/9/1996

paling sederhana yaitu protobion. Bentuk kehidupan pertama ditandai dengan adanya senyawa kompleks yang menunjukkan ciri-ciri kehidupan. Hal ini ditunjukkan dengan adanya metabolisme, reproduksi serta ketanggapan terhadap faktor lingkungan yang terjadi di dalam tubuh senyawa kompleks tersebut.

Menurut pandangan Harun Yahya, konsep kehidupan yang berasal dari benda mati bertentangan dengan hukum dasar biologi. Dalam hal ini, Harun Yahya memberikan gambaran bahwa sel hidup merupakan hasil pembelahan dari sel hidup juga dan bukan dari pembelahan sel mati. Harun Yahya membantah gagasan yang menyatakan bahwa kehidupan muncul dari kehidupan sebelumnya. Gagasan tersebut mengandung arti bahwa makhluk hidup yang pertama kali muncul di bumi berasal dari kehidupan yang ada sebelumnya. Harun Yahya mengungkapkan pendapatnya dari sudut pandang berbeda yang menyatakan bahwa di alam semesta ini ada pencipta (*creator*) yaitu Tuhan Yang Maha Esa. Salah satu bantahan Harun Yahya tersebut merupakan bagian dari pendapatnya dalam meruntuhkan Teori Evolusi Darwin.

2. Pandangan Harun Yahya tentang Teori Evolusi

Dalam karyanya, Harun Yahya mengungkapkan bahwa Teori Evolusi yang dikemukakan oleh Darwin merupakan gagasan yang tidak ilmiah. Ada beberapa hal yang dijadikan dasar bagi Harun Yahya untuk membantah Teori Evolusi Darwin.

Yang pertama, masih minimnya kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi pada masa Darwin dan Lamarck untuk menjelaskan fenomena asal usul kehidupan. Ilmu genetika dan biokimia pada masa Darwin belum ada sehingga mempersempit penjelasan Darwin tentang evolusi dari sudut pandang genetika dan biokimia.

Yang kedua, komposisi dan susunan unsur genetik pada makhluk hidup yang sangat rumit menunjukkan ketidakabsahan mekanisme evolusi kehidupan. Menurut Harun Yahya, kerumitan yang ada dalam setiap unsur genetik tersebut merupakan hasil rancangan Sang Pencipta alam semesta ini.

Harun Yahya juga mengungkapkan kelemahan-kelemahan bukti evolusi yang dikemukakan oleh Darwin, salah satunya dari catatan fosil. Dari berbagai fosil yang ditemukan, tidak ada satu pun fosil yang menunjukkan bentuk transisi yang dapat dijadikan sebagai petunjuk proses evolusi. Di samping itu, perbandingan anatomi menunjukkan bahwa spesies yang diduga telah berevolusi dari spesies lain ternyata memiliki ciri-ciri anatomi yang sangat berbeda, sehingga mereka tidak mungkin menjadi nenek moyang dan keturunannya.

Mengenai seleksi alam, Harun Yahya mengungkapkan bahwa tidak pernah ada satu spesies pun yang mampu menghasilkan spesies lain melalui mekanisme seleksi alam. Sebagai contoh, masih ingatkah kalian tentang evolusi kupu-kupu *Biston betularia* di Inggris? Menurut Harun Yahya, terbentuknya kupu-kupu *Biston betularia* bersayap gelap

Galeri



www.harunyahya.com

Harun Yahya adalah seorang da'i dan ilmuwan terkemuka asal Turki yang memiliki nama asli Adnan Oktar. Adnan Oktar memulai perjuangan intelektualnya pada tahun 1979, menuntut ilmu di Akademi Seni, Universitas Mimar Sinan. Selama berada di universitas tersebut, Adnan Oktar melakukan pengkajian yang mendalam tentang berbagai filsafat dan ideologi materialistik yang sangat berpengaruh terhadap masyarakat sekitarnya. Dalam karyanya yang berjudul Keruntuhan Teori Evolusi, Harun Yahya mengungkapkan bantahan-bantahannya terhadap teori evolusi yang dicetuskan oleh Darwin.

www.harunyahya.com



Day, Jejak Sejarah Sains Genetika, hlm. 20

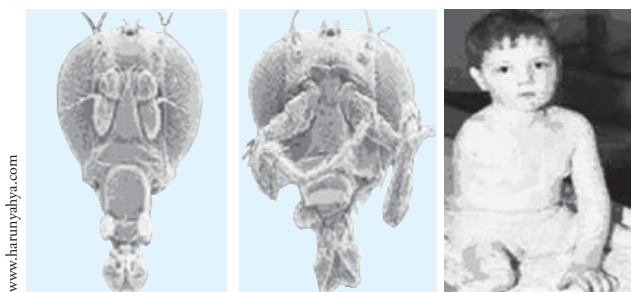
Gambar 8.10 Model struktur DNA yang menunjukkan rumitnya unsur genetik

yang terjadi pada awal revolusi industri di Inggris sebenarnya tidak ada. Cerita sebenarnya adalah pada awalnya warna kulit batang pohon di Inggris benar-benar terang. Oleh karena itu, kupu-kupu berwarna gelap yang hinggap pada pohon-pohon tersebut mudah terlihat oleh burung-burung pemangsa, sehingga mereka memiliki kemungkinan hidup yang rendah. Lima puluh tahun kemudian akibat polusi, warna kulit kayu menjadi lebih gelap dan saat itu kupu-kupu berwarna cerah menjadi mudah diburu. Akibatnya, jumlah kupu-kupu berwarna cerah berkurang, sementara populasi kupu-kupu berwarna gelap meningkat karena tidak mudah terlihat oleh pemangsa. Dalam kasus ini, Harun Yahya menganggap bahwa tidak terjadi perubahan warna sayap kupu-kupu yang diturunkan. Namun, yang terjadi sebenarnya adalah jumlah kupu-kupu yang berwarna cerah telah banyak dimangsa oleh burung-burung pemangsa, sehingga jumlah kupu-kupu berwarna cerah lebih sedikit dibanding kupu-kupu yang berwarna lebih gelap.

Salah satu pokok pikiran Teori Evolusi yang juga tak luput dari bantahan Harun Yahya adalah tentang mutasi. Di dalam pandangan evolusi Darwin, mutasi dikatakan sebagai proses yang memunculkan spesies baru yang berbeda dari tetuanya. Harun Yahya menentang pandangan yang menyatakan bahwa mutasi dapat bersifat menguntungkan, tetapi pada kenyataannya setiap mutasi bersifat membahayakan. Harun Yahya memberikan beberapa contoh akibat merugikan yang ditimbulkan karena mutasi, seperti pada Gambar 8.11.

Harun Yahya mengajukan tiga alasan utama mengapa mutasi tidak dapat dijadikan bukti pendukung evolusi:

- Tidak pernah ditemukan mutasi yang bermanfaat, karena mutasi terjadi secara acak dan akan merusak susunan dan komposisi materi genetik.
- Mutasi tidak menambahkan informasi genetik yang baru, tetapi hanya bersifat merubah atau merusak yang dapat mengakibatkan ketidaknormalan.
- Agar dapat diwariskan pada generasi selanjutnya, mutasi harus terjadi pada sel-sel reproduksi organisme.



Gambar 8.11 Kiri : Seekor lalat buah (*Drosophila Melanogaster*) normal. Kanan : Seekor lalat buah dengan kaki tumbuh di kepala; mutasi akibat radiasi. Efek mutasi yang mengesankan pada tubuh manusia. Bocah laki-laki di samping adalah korban kecelakaan instalasi nuklir Chernobyl.

D i s k u s i

Untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas tentang keruntuhan Teori Evolusi seperti yang diungkapkan oleh Harun Yahya, saksikanlah VCD Harun Yahya tentang keruntuhan Teori Evolusi. Selanjutnya diskusikanlah apa yang telah kalian saksikan tersebut dengan teman sekelas dan guru. Bandingkan dengan bukti-bukti evolusi yang diajukan oleh Darwin terhadap Teori Evolusinya.

Untuk menguji pemahaman kalian mengenai kecenderungan baru Teori Evolusi, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut ini secara mandiri.

Uji Kompetensi

1. Sebutkan dan jelaskan pandangan baru dari para ahli tentang Teori Evolusi.
2. Bagaimanakah pandangan Harun Yahya terhadap Teori Evolusi?
3. Sebutkan bukti-bukti ilmiah yang diajukan Harun Yahya untuk membantah Teori Evolusi.
4. Berdasarkan bukti-bukti yang diajukan oleh Harun Yahya terhadap evolusi, menurut kalian bagaimanakah kebenaran pandangan Harun Yahya tentang evolusi?
5. Syarat-syarat apakah yang harus dipenuhi untuk dapat membantah sebuah penemuan ilmiah?

Ikhtisar

1. Ada tiga teori asal usul kehidupan yang dikenal yaitu: Teori Abiogenesis yang menyatakan bahwa kehidupan berasal dari benda mati; Teori Biogenesis yang menyatakan bahwa kehidupan berasal dari kehidupan sebelumnya; dan Teori Evolusi Biokimia yang menyatakan bahwa kehidupan berasal dari bahan anorganik yang mengalami perubahan-perubahan secara kimiawi sampai muncul bentuk kehidupan yang pertama.
2. Bentuk kehidupan pertama adalah senyawa kompleks (protobion) yang dapat bermetabolisme, bereplikasi dan terdapat unsur genetik RNA di dalamnya.
3. Stanley Miller dan Harold Urey berhasil membuktikan bahwa bahan organik dapat terbentuk dari bahan anorganik dengan menciptakan alat dan atmosfer yang hampir serupa dengan kondisi primitif bumi.
4. Teori modern tentang asal usul kehidupan yang paling berkembang adalah Teori Evolusi Biokimia.
5. Harun Yahya berpendapat bahwa kehidupan merupakan hasil ciptaan yang sudah dirancang dengan baik oleh Tuhan Yang Maha Esa.
6. Kelemahan Teori Evolusi Darwin disebabkan masih minimnya ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang biologi molekuler yang dapat dijadikan sebagai penjelas Teori Evolusi Darwin.

Senarai kata

Abiogenesis Kehidupan berasal dari benda mati

Asam amino Molekul pembentuk protein

Autokatalitik Mampu berlaku sebagai katalisator untuk mensintesis molekul baru yang sama dengan molekul asalnya

Biogenesis Kehidupan berasal dari kehidupan sebelumnya (benda hidup)

DNA Bahan inti penyusun gen

Primordial soup Akumulasi zat-zat anorganik yang menjadi awal mula terbentuknya zat organik sederhana (monomer)

Protobion Kumpulan molekul-molekul yang dihasilkan dari zat abiotik yang memiliki sifat berbeda dengan lingkungannya

RNA Bahan yang berperan dalam perangkaian asam amino membentuk protein

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

- Teori asal usul kehidupan yang pertama kali muncul adalah Teori....
 - Big Bang
 - Evolusi Biologi
 - Generatio Spontanea*
 - Evolusi Biokimia
 - Nebula
- Sebuah percobaan untuk membantah Teori Abiogenesis dilakukan dengan meletakkan daging pada dua stoples yang berbeda. Salah satu stoples ditutup rapat, sedangkan yang lainnya dibiarkan terbuka. Percobaan ini dilakukan oleh
 - Louis Pasteur
 - A.L. Oparin
 - Harold Urey
 - Aristoteles
 - Francesco Redi
- Spallanzani dan Pasteur merupakan dua ahli yang memiliki kesimpulan sama tentang adanya kehidupan. Pernyataannya menyebutkan bahwa
 - kehidupan berasal dari benda mati
 - di udara terdapat mikrobia yang dapat mencemari makanan dan minuman
 - kaldunya dipanaskan dan ditutup tidak akan mengandung mikrobia
 - mikrobia yang ada di udara merupakan benih makhluk hidup
 - makhluk hidup terjadi secara spontan
- Kehidupan berasal dari kehidupan sebelumnya. Postulat ini pertama kali dirumuskan oleh
 - Louis Pasteur
 - Francesco Redi
 - Antonie Van Leeuwenhoek
 - Lazarro Spallanzani
 - Harold Urey
- A.L. Oparin dan Haldane mengajukan postulat bahwa kondisi bumi primitif digambarkan seperti di bawah ini, **kecuali**
 - suhunya sangat tinggi
 - mengandung banyak oksigen
 - kaya akan radiasi sinar Ultra Violet
 - adanya aktivitas vulkanik
 - belum ada kehidupan
- Teori modern asal usul kehidupan yang berkembang saat ini adalah Teori
 - Big Bang
 - Evolusi Biologi
 - Generatio Spontanea*
 - Nebula
 - Evolusi Biokimia
- Berdasarkan Teori Evolusi Biokimiawi, kehidupan berasal dari
 - bahan organik
 - bahan anorganik
 - kehidupan sebelumnya
 - asam ribosa nukleat
 - mikrobia
- Dari hasil percobaan Stanley Miller dan Harold Urey ditemukan senyawa organik yang umum terdapat dalam tubuh organisme yaitu
 - 20 asam amino
 - DNA
 - enzim
 - protoplasma
 - nukleus
- Pembawa informasi genetik yang pertama kali terbentuk adalah
 - gen
 - kromosom
 - RNA
 - DNA
 - nukleus
- RNA dikatakan bersifat *autokatalitik*. Hal ini disebabkan karena RNA
 - berperan dalam translasi (penerjemahan) kode genetik

- b. dapat bereplikasi yang akhirnya membentuk DNA
 - c. berfungsi sebagai katalis dalam sintesis protein
 - d. membentuk katalisator penting dalam proses awal kehidupan
 - e. memiliki struktur yang sederhana dibandingkan DNA
11. Tahapan evolusi kimiawi kehidupan yang dikemukakan oleh para ahli adalah sebagai berikut:
- 1. Sintesis abiotik (benda tak hidup) dan akumulasi molekul organik kecil.
 - 2. Agregasi molekul yang diproduksi secara abiotik menjadi droplet yang disebut protobion.
 - 3. Penyatuan monomer-monomer menjadi polimer.
 - 4. Munculnya faktor hereditas yang diduga telah berlangsung sebelum tahapan “droplet”.
- Urutan tahapan yang benar adalah
- a. 1-2-3-4
 - b. 1-3-4-2
 - c. 1-4-3-2
 - d. 1-3-2-4
 - e. 1-2-4-3
12. Pandangan Harun Yahya tentang asal usul kehidupan adalah
- a. kehidupan berasal dari kehidupan sebelumnya
 - b. kehidupan berasal dari bahan anorganik
 - c. kehidupan berasal dari bahan organik
 - d. kehidupan merupakan pembentukan yang terjadi secara spontan
 - e. kehidupan berasal dari benda mati
13. Salah satu aspek yang melemahkan Teori Evolusi Darwin menurut Harun Yahya adalah karena....
- a. kurangnya bukti-bukti ilmiah
 - b. masih minimnya kemampuan ilmu pengetahuan di bidang molekuler
 - c. kurangnya referensi hasil penemuan ilmuwan sebelumnya
 - d. kesalahan dalam metode penelitian Darwin
 - e. pengamatan yang lebih diutamakan daripada percobaan
14. Harun Yahya menolak jika mutasi dikatakan sebagai mekanisme terbentuknya spesies baru, karena menurutnya
- a. kebanyakan mutasi bersifat menguntungkan
 - b. kebanyakan mutasi bersifat membahayakan
 - c. mutasi merupakan peristiwa yang sangat jarang terjadi
 - d. mutasi dapat menghasilkan organisme yang memiliki ketahanan lebih baik
 - e. mutasi dapat menambah informasi genetik
15. Menurut Harun Yahya, mekanisme industri pada kupu-kupu terjadi karena faktor di bawah ini, **kecuali**
- a. sebelum revolusi industri banyak pohon-pohon berwarna terang
 - b. *Biston betularia* berwarna terang banyak dimangsa oleh burung-burung pemangsa
 - c. *Biston betularia* berwarna gelap menyerasipai warna gelap pada pohon sehingga tidak dimangsa oleh burung
 - d. *Biston betularia* berwarna gelap melakukan adaptasi dengan banyaknya industri dan mewariskan sifat warna gelap pada keturunannya
 - e. setelah revolusi industri, terjadi polusi yang menyebabkan pohon-pohon menjadi gelap
16. Bukti kelemahan catatan fosil yang dikemukakan oleh Darwin menurut Harun Yahya adalah
- a. catatan fosil kurang lengkap
 - b. tidak ditemukannya fosil organisme transisi

- c. fosil tidak asli
 - d. fosil bukan temuan ahli paleontologi
 - e. fosil tidak utuh
17. Faktor berikut yang dapat menguatkan Darwin sebagai pencetus evolusi adalah
- a. Darwin adalah seorang naturalis amatir
 - b. Darwin memiliki kemampuan ilmu pengetahuan biomolekuler yang terbatas
 - c. Darwin melakukan pengamatan langsung terhadap organisme-organisme yang dilihatnya selama perjalanan ke kepulauan Galapagos
 - d. Darwin tidak melakukan penelitian
 - e. Darwin banyak belajar dari ahli-ahli sebelumnya
18. Paham yang dianut oleh Harun Yahya adalah
- a. Naturalisme
 - b. Liberalisme
 - c. Evolucionarisme
 - d. Sekularisme
 - e. Kraeasionisme
19. Menurut konsep evolusi yang dikemukakan oleh Harun Yahya tentang asal-usul kehidupan yang benar adalah
- a. kehidupan berasal dari benda mati
 - b. kehidupan berasal dari benda hidup
 - c. kehidupan terjadi melalui proses evolusi kimiawi
 - d. kehidupan sekarang berasal dari kehidupan sebelumnya
 - e. kehidupan berasal dari kehidupan sebelumnya dan merupakan hasil penciptaan Tuhan YME dengan rancangan
20. Berdasarkan pandangan Harun Yahya seperti disebut pada soal nomor 19, maka bantahan Harun Yahya terhadap Teori Evolusi merupakan....
- a. karya besar yang telah meruntuhkan Teori Evolusi
 - b. karya populer yang ditulis oleh seorang filsuf

- c. bersifat ilmiah karena didukung dengan hasil penelitian ilmiah
- d. bersifat teologis karena ditulis oleh seorang penyebar ajaran agama
- e. karya yang bersifat menyaingi Teori Evolusi Darwin

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. Sebelum adanya kehidupan, bagaimanakah kondisi bumi primitif menurut Oparin?
2. Jelaskan asal usul kehidupan menurut Teori *Generation Spontanea*.
3. Bagaimanakah usaha yang dilakukan oleh para ahli dalam membuktikan bahwa kehidupan berasal dari benda mati?
4. Sebutkan dan jelaskan percobaan yang dilakukan oleh para ahli dalam membuktikan bahwa kehidupan berasal dari kehidupan sebelumnya.
5. Bagaimanakah langkah-langkah percobaan yang dilakukan oleh Miller dan Urey dalam membuktikan hipotesis Oparin tentang asal usul kehidupan?
6. Menurut pandangan Harun Yahya, Teori Evolusi yang dikemukakan oleh Darwin tidak ilmiah. Alasan apakah yang melandasi pandangan Harun Yahya tersebut?
7. Sebutkan argumen Harun Yahya dalam menentang Teori Evolusi Biokimia.
8. Jelaskan bantahan Harun Yahya terhadap konsep seleksi alam yang dikemukakan oleh Darwin.
9. Bagaimanakah pandangan Harun Yahya mengenai evolusi kupu-kupu *Biston betularia* di Inggris?
10. Sebutkan alasan-alasan Harun Yahya membantah adanya mutasi sebagai salah satu pendorong evolusi.

Latihan Ulangan Tengah Semester II

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

- Menurut konsep evolusi *use and disuse* yang dikemukakan oleh Lamarck, jerapah memiliki leher panjang disebabkan oleh alasan-alasan berikut, **kecuali**
 - dedaunan semakin tinggi, hingga perlu menjulurkan leher untuk menggapainya
 - adanya pewarisan sifat leher panjang kepada keturunannya
 - jerapah yang berleher pendek telah punah
 - dedaunan yang letaknya rendah telah habis dimakan
 - semakin sering leher jerapah dijulurkan untuk menggapai dedaunan, maka leher jerapah akan semakin panjang
- Yang dikenal sebagai Bapak Evolusi adalah
 - Charles Darwin
 - J.B. Lamarck
 - Weismann
 - De Vries
 - Herbert Spencer
- Fosil merupakan salah satu petunjuk adanya evolusi, yang termasuk dalam bukti
 - anatomi
 - embriologi
 - paleontologi
 - biokomia perbandingan
 - geografi
- Petunjuk adanya evolusi dari anatomi perbandingan adalah adanya organ tubuh yang bersifat analog, contohnya adalah
 - sayap burung penguin dan sayap kupu-kupu
 - tangan manusia dan sirip lumba-lumba
 - sayap kelelawar dan kaki pada kucing
 - sirip lumba-lumba dan sayap kelelawar
 - sayap burung dan sayap kupu-kupu
- Meskipun kecepatan mutasi relatif rendah, namun tetap saja menyebabkan variasi. Kondisi ini disebabkan oleh beberapa alasan berikut, **kecuali**
 - setiap organisme mengandung ribuan gen
 - setiap individu mampu menghasilkan ribuan gamet
 - banyaknya jumlah individu dalam satu generasi
 - jumlah individu dalam satu generasi berubah-ubah
 - banyaknya jumlah individu di dunia
- Konsep *struggle for existence* yang dikemukakan oleh Darwin mengandung makna bahwa
 - setiap organisme harus berjuang untuk mempertahankan hidup
 - populasi yang besar akan tetap bertahan
 - kelangsungan hidup organisme dipengaruhi oleh makanan dan ruang
 - kecenderungan populasi yang bertambah banyak menyebabkan makhluk hidup akan bersaing
 - adanya kompetisi untuk mempertahankan hidup
- Isolasi reproduksi dapat terjadi pada anggota populasi karena adanya penghalang geografis. Populasi tersebut disebut sebagai
 - populasi alopatrik
 - populasi simpatrik
 - isolasi geografis
 - isolasi habitat
 - isolasi musim
- Teori asal usul bumi yang menyebutkan bahwa bumi berasal dari ledakan kabut yang maha dahsyat, dikenal dengan Teori
 - Bigbang
 - Nebula
 - Biogenesis
 - Abiogenesis
 - Evolusi Biokimia
- Perhatikan nama-nama berikut.
 - Aristoteles
 - John Needham
 - Francesco Redi
 - Louis Pasteur
 - Lazzaro Spallanzani

Yang termasuk pendukung Teori Biogenesis adalah

- a. 1, 3, 4
 - b. 2, 3, 5
 - c. 3, 4, 5
10. Teori Biogenesis yang dikemukakan oleh Louis Pasteur, salah satunya menyebutkan tentang *omne ovum ex vivo* yang berarti
- a. telur berasal dari kehidupan
 - b. kehidupan berasal dari kehidupan
 - c. kehidupan berasal dari telur
 - d. telur berasal dari telur
 - e. kehidupan berasal dari benda mati
11. Menurut Oparin dan Haldane, pada mulanya atmosfer bumi mengandung banyak molekul anorganik, yaitu
- a. H_2O , NH_4 , CO_2 , CH_4
 - b. H_2O , NH_4 , CO_2 , O_2
 - c. NH_4 , CO , O_2 , H_2O
 - d. NH_4 , O_2 , CO , H_2O
 - e. CH_4 , CO_2 , H_2O , O_2
12. Pada percobaan untuk membuktikan asal usul kehidupan, Miller berhasil membuktikan bahwa zat organik yang terbentuk adalah
- a. protein
 - b. asam nukleat
 - c. asam lemak
 - d. asam amino
 - e. karbohidrat
13. Kehidupan berasal dari kehidupan sebelumnya dan merupakan hasil penciptaan Tuhan. Konsep ini disebut sebagai Teori
- a. Abiogenesis
 - b. Biogenesis
 - c. Evolusi Biokimia
 - d. Big Bang
 - e. Kreasionisme
14. Manakah pernyataan menurut pandangan Harun Yahya mengenai evolusi kupu-kupu *Biston betularia* di Inggris?
- a. Jumlah *Biston betularia* bersayap gelap lebih banyak sebelum Revolusi Industri.
 - b. Jumlah *Biston betularia* bersayap terang lebih banyak setelah Revolusi Industri.

- c. Jumlah *Biston betularia* bersayap terang dan gelap sama dengan sebelum terjadinya Revolusi Industri.
- d. *Biston betularia* bersayap gelap berasal dari *Biston betularia* bersayap terang.
- e. Jumlah *Biston betularia* bersayap gelap lebih banyak setelah Revolusi Industri.

15. Agat dapat diwariskan, mutasi harus terjadi pada sel
- a. otak
 - b. kulit
 - c. darah
 - d. kelamin
 - e. jantung

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. Jelaskan perbedaan konsep evolusi yang dikemukakan oleh Lamarck dan Darwin, dalam fenomena evolusi leher jerapah.
2. Sebutkan bukti-bukti pendukung adanya evolusi.
3. Fosil merupakan salah satu bukti petunjuk adanya evolusi. Keterangan apa saja yang dapat diperoleh dari fosil?
4. Jelaskan perbedaan antara organ analog dan organ homolog, serta berikan contoh untuk masing-masing organ tersebut.
5. Sebutkan syarat-syarat berlakunya Hukum Hardy-Weinberg.
6. Sebutkan dan jelaskan 4 macam mekanisme isolasi reproduksi.
7. Jelaskan perbedaan konsep Teori Abiogenesis, Teori Biogenesis, dan Teori Evolusi Biokimia.
8. Jelaskan pandangan Stanley Miller dan Harold Urey mengenai kondisi primitif bumi yang mendasari percobaannya.
9. RNA bersifat autokatalitik. Jelaskan maksudnya.
10. Bagaimanakah pandangan Harun Yahya mengenai evolusi *Biston betularia* di Inggris?

B a b IX

Bioteknologi



dok. PIM

Siapa tak kenal tempe? Meski terlanjur dipatenkan oleh orang Jepang, makanan ini telah begitu populer di negeri kita. Tentu saja demikian, sebab konon tanah tumpah darah tempe memanglah Indonesia.

Bung Karno pernah menyebut orang-orang pemalas sebagai “bangsa bermental tempe”. Tapi kini kita boleh saja membantah julukan itu. Toh, terbukti tempe bergizi tinggi. Di dalamnya terkandung protein, karbohidrat, dan vitamin. Maka, tempe pun dikonsumsi sebagai lauk pauk, pelengkap sayur, bahkan ada yang dimakan langsung tanpa dimasak. Begitu hebatnya tempe, karena memang ia tak dibuat dengan asal buat. Pembuatan tempe melibatkan peran suatu mikroorganisme, yakni jamur benang. Sehingga, tempe merupakan satu contoh produk bioteknologi. Nah, tentu kalian jadi penasaran tentang jenis teknologi yang satu ini. Iya kan? Baca saja bab ini baik-baik.

Kata Kunci

- Bioteknologi
- Konvensional
- Modern
- Mikroorganisme
- Rekayasa genetika
- Steril
- Non steril
- Kultur jaringan
- Transplantasi nukleus

Galeri

Bapak Bioteknologi



Louis Pasteur adalah orang yang pertama kali menggunakan metode fermentasi sehingga disebut sebagai Bapak Bioteknologi. Istilah bioteknologi baru populer pada abad ke-20.

Microsoft Encarta Premium 2006

Kilas

Di kelas X, kalian mengetahui bahwa biologi adalah ilmu terapan yang mempelajari makhluk hidup dengan segala permasalahannya. Ruang lingkup biologi meliputi objek biologi dan permasalahan dari berbagai tingkat organisasi kehidupan (sel, jaringan, organ, sistem organ, individu, populasi, komunitas, ekosistem, dan biosfer).

Pada bab ini, kalian akan mempelajari pengertian dan jenis-jenis bioteknologi serta implikasi (dampak) bioteknologi pada sains, lingkungan, teknologi, dan masyarakat (salingtemas).

Setelah mempelajarinya, kalian diharapkan dapat menjelaskan perbedaan prinsip dan produk bioteknologi konvensional dan modern, termasuk di dalamnya adalah proses rekayasa genetika. Selain itu, kalian diharapkan dapat mengidentifikasi sumber-sumber agen (mikroorganisme) yang berperan dalam bioteknologi dan menjelaskan keuntungan serta kerugian dari produk bioteknologi.

A. Pengertian dan Jenis-jenis Bioteknologi

Ilmu semakin berkembang dari waktu ke waktu. Perkembangan ilmu terapan (*applied science*) yang menyebabkan transformasi atau perubahan, baik tentang teknik, prosedur, atau bahan sesuai dengan kebutuhan proses produksi disebut **teknologi**. Sementara itu, teknologi pemanfaatan mikroorganisme untuk menghasilkan produk yang berguna bagi manusia disebut **bioteknologi**.

1. Arti dan Prinsip Dasar Bioteknologi

Bioteknologi merupakan puncak dari perkembangan ilmu biologi. Oleh karena itu, perkembangan teknologi memengaruhi pula perkembangan biologi. Biologi saling berkaitan dengan ilmu-ilmu yang lain. Beberapa cabang biologi dan ilmu kimia yang mendukung kemajuan dan perkembangan bioteknologi, antara lain: sitologi, fisiologi, mikrobiologi, biologi molekuler, genetika (genetika molekuler dan rekayasa genetika), biokimia, dan teknik kimia. Adanya bioteknologi menyebabkan peningkatan nilai tambah dari bahan mentah.

Berikut adalah pendapat beberapa ahli tentang istilah bioteknologi.

- Bull Etaf (1982)** mendefinisikan bioteknologi sebagai penerapan asas-asas sains (Ilmu Pengetahuan Alam) dan rekayasa untuk pengolahan suatu bahan, dengan melibatkan aktivitas jasad atau mikrobia hidup untuk menghasilkan barang dan jasa.
- Smith (1981)** mendefinisikan bioteknologi sebagai upaya pemanfaatan organisme untuk usaha industri dan manufaktur.
- Tri Wibowo (2001)** mendefinisikan bioteknologi sebagai suatu penerapan teknik-teknik biologi, biokimia, dan rekayasa dalam pengolahan bahan dengan memanfaatkan agensia jasad hidup dan komponen-komponennya untuk menghasilkan barang dan jasa.
- Primrose (1987)** mendefinisikan bioteknologi secara lebih sederhana, yaitu eksploitasi komersial organisme hidup atau komponennya (misalnya: enzim).

2. Jenis-jenis Bioteknologi

Sejalan dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, bioteknologi dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

a. Bioteknologi Konvensional

Bioteknologi konvensional merupakan bioteknologi yang memanfaatkan mikroorganisme (mikrobia) dalam proses biokimiawi dan proses genetik alami (mutasi).

Beberapa ciri atau sifat dari bioteknologi konvensional, antara lain: masih menerapkan teknik-teknik biologi, bioteknologi, dan rekayasa genetika yang terbatas, masih menggunakan mikroorganisme seadanya, belum mengembangkan teknik sampai tingkatan molekuler yang terarah, belum sepenuhnya steril (bebas dari mikrobia yang tidak diinginkan), jumlah produknya relatif sedikit, serta kualitasnya belum terjamin.

Fermentasi merupakan salah satu contoh dari penerapan bioteknologi konvensional dan telah digunakan dalam menghasilkan produk, baik dalam skala kecil maupun industri besar (misalnya: tauco, kecap, minuman anggur, dan sake). Kalian tentunya sering menjumpai pula beberapa produk fermentasi yang bersifat khas dalam masyarakat (*indegenuous fermented food*). Contohnya adalah industri tempe dan tape.

Produk-produk lain dari bioteknologi konvensional, antara lain:

Bahan bakar	metana, etana, dan propana
Enzim	enzim α -amilase, lipase, dan proteinase
Metabolit primer	asam-asam organik dan alkohol
Metabolit sekunder	zat warna dan antibiotik
Asam amino	zat glutamat dan lisin

Nah, agar kalian dapat mengetahui tentang salah satu proses bioteknologi lakukanlah kegiatan pada rubrik *Percobaan* berikut.



Gambar 9.1 Kecap sebagai salah satu produk bioteknologi

dok. PIM

Percobaan

Membuat Tempe Melalui Fermentasi

A. Dasar Teori

Fermentasi merupakan salah satu contoh penerapan bioteknologi konvensional dan telah digunakan untuk menghasilkan produk, baik dalam skala kecil maupun industri besar.

Tempe merupakan makanan tradisional hasil fermentasi, dengan bahan dasar kedelai. Masyarakat Indonesia banyak yang memproduksi tempe dalam skala rumah tangga untuk mendapatkan penghasilan. Produk fermentasi yang bersifat khas dalam masyarakat ini disebut sebagai *indegenuous fermented food*.

B. Tujuan

Mengetahui proses fermentasi tempe sebagai produk bioteknologi konvensional.

C. Alat dan Bahan

1. Kedelai
2. Daun pisang dan daun waru
3. Kantong plastik
4. Tampah atau nampan dari plastik

D. Cara Kerja

1. Rebuslah kedelai dan kupaslah kulitnya setelah masak.
2. Masukkan bahan tersebut atau bungkuslah dengan daun pisang dan daun waru.
3. Tumbuhkan atau simpan (inokulasi) pada suhu 25-37 ° C selama 24 jam sampai 48 jam.
4. Amatilah hasil inokulasi kalian.

E. Pembahasan

1. Fermentasi apakah yang terjadi pada pembuatan tempe?
2. Adakah mikroorganisme yang berperan dalam pembuatan tempe? Apa nama mikroorganisme tersebut?
3. Dari manakah mikroorganisme tersebut berasal?
4. Apa sajakah kandungan gizi yang terdapat pada tempe?
5. Buatlah laporan hasil percobaan kalian dan kumpulkan sebagai portofolio.

b. Bioteknologi Modern

Selain mendasarkan pada mikrobiologi dan biokimia, bioteknologi modern mendasarkan pula pada manipulasi atau rekayasa genetika (DNA). Ciri atau sifat bioteknologi modern, antara lain: steril, produksi dalam jumlah lebih banyak, kualitasnya standar, dan terjamin.

Berbeda dengan bioteknologi konvensional, bioteknologi modern sudah memanfaatkan metode-metode mutakhir bioteknologi (*currents methods of biotechnology*), antara lain:

1) Kultur Jaringan

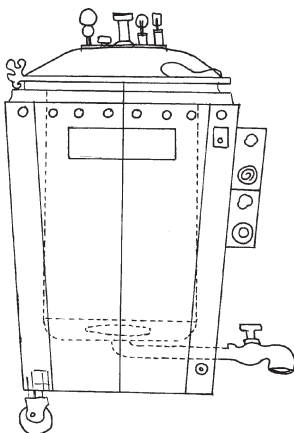
Kultur jaringan merupakan suatu teknik atau metode untuk mengisolasi bagian-bagian tanaman (sel, jaringan, atau organ seperti akar, batang, daun, dan pucuk) kemudian menumbuhkan bagian tersebut secara **aseptis** (teknik untuk mendapatkan kondisi suci hama) di dalam atau di atas medium budidaya (*in vitro*). Dengan demikian, bagian-bagian tanaman tersebut dapat memperbanyak diri dan dapat menjadi tanaman lengkap kembali.

Isolasi atau pemisahan bagian tanaman dapat dilakukan secara mekanis maupun kimiawi (enzimatis). Kultur jaringan pada tanaman dapat dilakukan karena setiap tanaman mempunyai sifat totipotensi. **Totipotensi** adalah kemampuan sel tanaman untuk menjadi tanaman baru yang lengkap, jika ditumbuhkan dalam medium atau lingkungan yang sesuai.

Teknik kultur jaringan memerlukan syarat mutlak, yaitu keadaan steril pada alat, bahan, lingkungan (ruang kerja), maupun seluruh rangkaian kerjanya. Secara umum, rangkaian kerja teknik kultur jaringan meliputi:

a) Persiapan

Tahap awal dalam kultur jaringan adalah menyiapkan **eksplan**, yaitu bagian dari tanaman (sel, jaringan, atau organ) yang digunakan sebagai bahan untuk memulai suatu kultur. Proses yang diperlukan



Gambar 9.2 Autoklaf

untuk menghasilkan keadaan steril (bebas hama) atau terhindar dari mikroorganismen yang tidak diinginkan disebut **sterilisasi**.

Sterilisasi alat dan bahan dapat dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut **autoklaf** (Gambar 9.2). Alat-alat dan bahan yang diperlukan dalam kultur jaringan tumbuhan antara lain: botol kultur, pinset, *scalpel* (pisau kultur), cawan petri, erlenmeyer, pipet, akuades, dan medium kultur buatan. Seluruh alat dan bahan tersebut harus dalam keadaan steril sebelum dipakai.

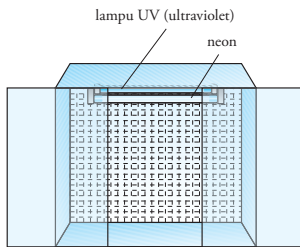
Tabel 7.1. Beberapa Medium yang Sering Digunakan dalam Kultur Jaringan

No.	Nama Medium dan Penemunya	Keterangan
1.	MS (Murashige dan Skoog) atau LS (Linsmaier dan Skoog)	Untuk kultur kalus pada berbagai tanaman, banyak mengandung garam-garam mineral dan senyawa nitrogen (amonium dan nitrat).
2.	BS (Gamborg)	Untuk kultur suspensi sel tanaman Leguminosae (terung-terungan).
3.	Nitsch dan Nitsch	Untuk kultur mikrospora dan kultur sel pada tembakau.
4.	WPM (Lloyd dan Mc Cown)	Untuk kultur jaringan tanaman berkayu.
5.	VW (Vancin dan Went) dan Knudson C	Untuk tanaman anggrek.
6.	Kao dan Michayluk	Untuk kultur protoplas pada Cruciferae, Gramineae, dan Leguminosae.
7.	N6 (Chu)	Untuk serealia (padi)
8.	White (W63)	Untuk kultur akar yang mengandung garam-garam mineral dalam konsentrasi yang rendah.

Indrianto, Teknik Kultur Jaringan, hlm. 33

Secara umum, medium yang digunakan dalam kultur jaringan harus mengandung garam-garam anorganik (unsur makro dan mikro), zat-zat organik (zat pengatur tumbuh), substansi organik yang kompleks (air kelapa dan ekstrak buah-buahan), bahan pematid medium (agar-agar), pH tertentu, dan bahan tambahan (arang aktif).

Beberapa kelompok zat pengatur tumbuh yang digunakan dalam kultur jaringan antara lain: auksin (IAA, 2,4 D, dan NAA), sitokinin (adenin, kinetin, zeatin, dan BAP), giberelin, asam absisat, dan etilen. Zat pengatur tumbuh (ZPT) merupakan faktor yang mendukung proses pertumbuhan pada kultur jaringan tumbuhan. Hormon auksin memacu pembelahan sel, sehingga membentuk gumpalan atau massa sel yang belum terdiferensiasi, disebut **kalus**. Sel-sel kalus ini dapat berkembang menjadi tanaman baru.



Gambar 9.3 LAF (*laminar air flow*)

b) Inokulasi

Inokulasi merupakan tahapan penanaman eksplan yang sudah steril ke dalam atau di atas medium buatan pada botol kultur. Teknik yang dilakukan untuk mendapatkan eksplan yang steril disebut teknik aseptis, dengan mengambil atau mengiris bagian tanaman. Entkas dan LAF (*Laminar Air Flow*) merupakan peralatan utama untuk melakukan kerja secara aseptis.

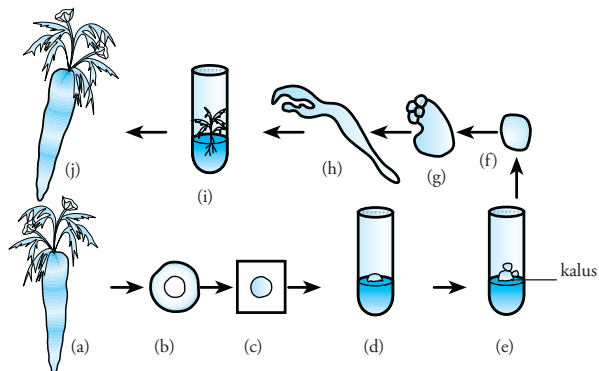
c) Pemeliharaan

Tahapan setelah inokulasi adalah meletakkan atau menyimpan botol-botol kultur secara rapi dan teratur pada ruang pemeliharaan (ruang inkubator), yaitu di rak-rak pemeliharaan. Selama pemeliharaan, kultur diamati secara rutin untuk mengetahui pertumbuhan dan perkembangan eksplan. Ruang inkubator harus dalam keadaan bersih dan dilengkapi dengan pengatur suhu ruangan serta sumber cahaya (lampu), sehingga mendukung pertumbuhan dan perkembangan eksplan.

d) Aklimatisasi

Tahapan setelah memelihara kultur yaitu menyesuaikan tanaman agar mampu beradaptasi dengan lingkungan yang baru. Proses ini disebut **aklimatisasi**. Perlakuan sebelum memindahkan atau menumbuhkan tanaman hasil kultur jaringan pada lingkungan luar (lapangan), yaitu menumbuhkan kultur dalam suatu ruangan khusus (*green house*), dengan mengatur faktor kelembaban, cahaya, dan suhu.

Gambar 9.4 Tahapan pembentukan tanaman baru (pada wortel)
 (a) wortel
 (b) potongan wortel bentuk bulat (± 1 cm)
 (c) dibuang bagian tepi sehingga berbentuk kubus
 (d) dimasukkan ke dalam medium (mengandung zat pengatur tumbuh)
 (e) tumbuh kalus
 (f - i) tahapan perkembangan sampai terbentuk tanaman kecil
 (j) tanaman wortel dewasa



Ada beberapa manfaat dan keuntungan kultur jaringan tanaman, antara lain: menghasilkan tanaman atau individu baru dalam jumlah besar dan cepat (waktu relatif singkat); menghasilkan tanaman bebas virus, menghasilkan tanaman yang persis dengan induknya, sehingga dapat melestarikan sifat tanaman induk; menghasilkan hibrid baru melalui persilangan somatis (melalui fusi atau penggabungan protoplas); menghasilkan tanaman haploid (melalui kultur mikrospora), sehingga untuk pemuliaan tanaman; untuk menyimpan plasma nutfah; untuk menyelamatkan embrio; hanya memerlukan tempat yang relatif sempit; serta semua bagian tanaman dapat digunakan.

2) Rekayasa Genetika

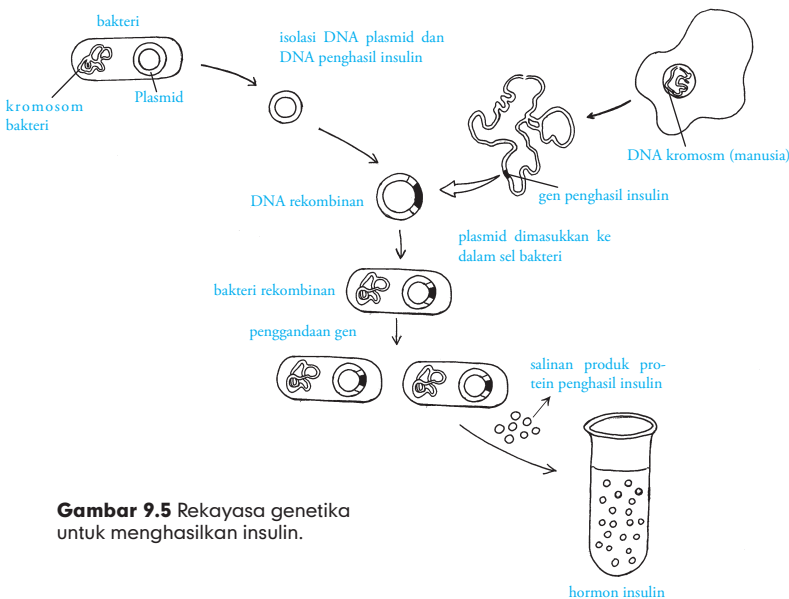
Tahun 1973 merupakan sejarah yang mengawali penelitian sebelum berkembangnya rekayasa genetika, yaitu pencangkokan gen mamalia ke dalam sel bakteri, sehingga menimbulkan fenotip maupun genotip yang baru. Teknik rekayasa genetika dapat dilakukan melalui:

a) Teknologi DNA Rekombinan (Recombinant DNA Technology)

Teknologi DNA rekombinan atau disebut juga **Rekayasa Genetika** adalah suatu metode biokimiawi atau manipulasi gen, dengan cara menyisipkan (*insert*) atau menggabungkan gen yang dikehendaki ke dalam suatu organisme. Hasil penggabungan DNA dari individu yang tidak sama ini disebut **DNA rekombinan**. Sementara itu, gen dari satu individu yang disisipkan atau digabungkan pada gen individu yang lain disebut **transgen**, individunya disebut **transgenik** (misalnya: tanaman transgenik).

Teknologi DNA rekombinan memerlukan suatu perantara atau vektor berupa plasmid bakteri (DNA berbentuk lingkaran yang terdapat di luar kromosom), sehingga merupakan bentuk teknologi plasmid. Adapun syarat-syarat vektor yang baik antara lain: mempunyai kemampuan untuk bereplikasi sendiri dan melakukan transkripsi; mampu memasuki sel; mampu menjadi bagian genom sel; serta mempunyai ciri khusus, sehingga sel yang ditransformasi dapat dikenali oleh sel yang tidak ditransformasi. Segmen DNA atau gen yang disisipkan akan berkembang di dalam sel individu penerima (inang atau *host*) dan tidak akan mengalami perubahan fungsi atau tetap berfungsi, sebagaimana pada sel yang diambil gennya.

Salah satu contoh rekayasa genetika yang sudah berhasil adalah penyisipan atau pemindahan gen manusia sebagai penghasil insulin, ke dalam plasmid bakteri *Escherichia coli*.



Gambar 9.5 Rekayasa genetika untuk menghasilkan insulin.

Galeri

Perdebatan Tanaman Transgenik

Sebagian orang menganggap tanaman transgenik sangat penting karena dapat meningkatkan kualitas hasil panen petani. Namun, sebagian lagi menganggap tanaman transgenik akan membawa bencana. Bahkan, beberapa aktivis penolak tanaman hasil rekayasa genetika melakukan protes keras dengan merusak tanaman-tanaman hasil rekayasa genetika tersebut.

Green, Makanan Rekayasa Genetika, hlm. 5

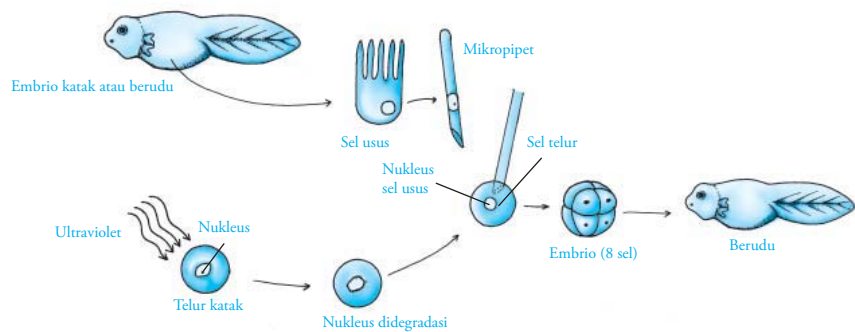


Day, Genetika, hlm. 30

Gambar 9.6 Suntik insulin pada penderita diabetes

b) Transplantasi Nukleus

Dua ahli mikrobiologi (**Robert Briggs** dan **Thomas King**) adalah orang yang pertama kali melakukan percobaan transplantasi nukleus pada tahun 1950-an. Kemudian, **John Gurdon** melanjutkan penelitian tersebut. Mereka menghancurkan nukleus dari sel telur katak menggunakan radiasi sinar ultra violet dan menggantinya dengan nukleus dari sel usus embrio katak (berudu) yang sedang berkembang. Nukleus dari sel usus tersebut diambil dengan mikropipet. Bila nukleus berasal dari sel usus embrio muda yang belum terdiferensiasi, maka sel telur penerima (resipien) dapat berkembang menjadi berudu. Perkembangan ini tidak terjadi, jika nukleus diambil dari sel usus berudu yang telah terdiferensiasi. Transplantasi atau pemindahan nukleus dari satu sel ke sel yang lain dapat menghasilkan individu yang baru.



Gambar 9.7 Transplantasi nukleus pada katak

c) Kloning

Selain transplantasi gen, pembentukan individu baru dapat dilakukan dengan teknik yang disebut **kloning**. Kloning adalah suatu metode untuk menghasilkan keturunan atau individu yang identik secara genetik dengan induknya.

Pada tahun 1997, para peneliti dari Scotlandia (**Ian Wilmut** dan rekan-rekannya) berhasil menghasilkan seekor domba yang kemudian diberi nama Dolly. Pada penelitiannya, mereka mengambil sel telur dari satu domba dan menghilangkan nukleusnya. Selanjutnya, sel telur tanpa nukleus tersebut digabungkan dengan sel kelenjar susu (ambing) dari domba lainnya menggunakan aliran arus listrik. Setelah 6 hari ditumbuhkan dalam kultur, terbentuk embrio dan ditanam di dalam uterus domba lainnya (domba ke-3 yang mirip dengan pendonor sel telur). Akhirnya, domba tersebut melahirkan anak yang identik dengan domba pendonor sel ambing.

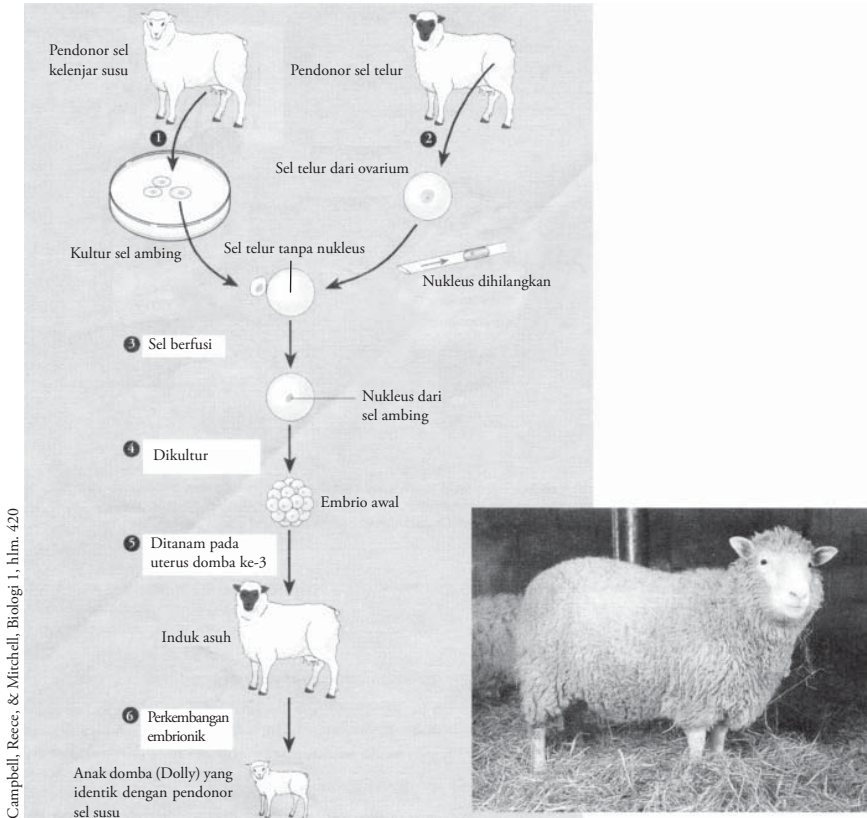
Para ahli dapat saja menerapkan kloning pada manusia, sehingga dihasilkan klon dari manusia itu sendiri (pria maupun wanita) yang mempunyai sifat identik.

Galeri

Dolly Akhirnya Mati

Dolly hasil kloning tidak mempunyai umur yang panjang dan mati pada usia muda. Meskipun para ahli berhasil melakukan kloning, mereka juga menemukan kelemahan kloning, yaitu hewan hasil kloning tidak sekuat hewan yang berkembang biak secara alami. Dolly mati disebabkan penyakit yang berhubungan dengan usia.

Day, Genetika, hlm. 36



Gambar 9.8 Kloning menghasilkan domba Dolly

Nah, dari uraian tentang kloning tersebut, ikutilah rubrik *Diskusi* berikut.

Diskusi

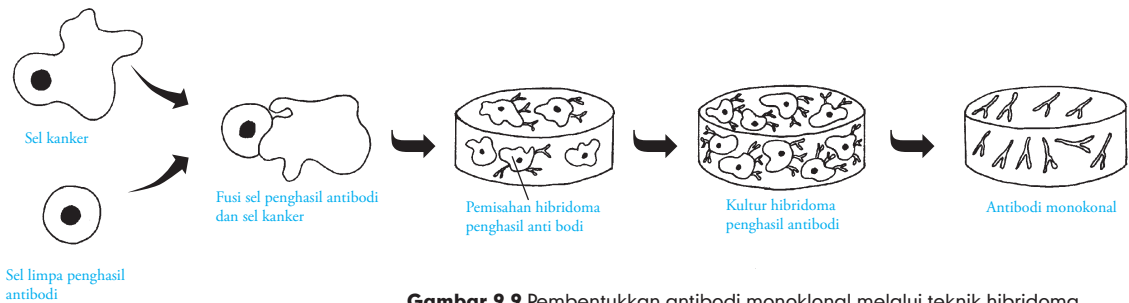
Bagaimana pendapat kalian jika manusia baru diciptakan atau dihasilkan dari teknik kloning? Setujukah kalian dengan cara ini? Adakah negara di dunia ini yang telah mempraktikkan kloning pada manusia? Kalian dapat menelusuri informasi melalui internet atau sumber lain. Diskusikan dengan teman kalian dan jelaskan pendapat serta alasan kalian di depan kelas.

d) Teknologi Hibridoma

Teknologi hibridoma adalah suatu metode penggabungan (fusi) dua macam sel dari organisme yang sama atau berbeda untuk mendapatkan sel hibrid (hibridoma) yang mempunyai kombinasi kedua sifat tersebut. Proses penggabungan sel menggunakan tenaga listrik, sehingga prosesnya disebut **elektrofusi**.

Teknologi hibridoma menghasilkan antibodi minoklonal, yaitu antibodi murni yang tidak tercemar oleh kuman atau protein lain. Teknik ini dikembangkan oleh **Kohler** dan **Mistein**, dengan menyun-

tikkan antigen ke dalam tubuh tikus atau kelinci. Selanjutnya, tikus atau kelinci tersebut membentuk antibodi. Sel pembentuk antibodi dari limpa tikus atau kelinci dipisahkan dan diambil, kemudian meleburkan atau menggabungkan sel tersebut dengan sel kanker. Penggabungan kedua sel tersebut membentuk sel hibridoma. Sel penghasil antibodi hasil kultur sel hibridoma dipisahkan kemudian dikultur. Dengan demikian dihasilkan beberapa antibodi monoklonal dari beberapa kultur sel.



Gambar 9.9 Pembentukan antibodi monoklonal melalui teknik hibridoma

Setelah kalian mempelajari pengertian dan jenis-jenis bioteknologi, lakukanlah tugas di rubrik *Telisik* dan selesaikan *Uji Kompetensi* berikut.

Telisik

Mencari Informasi Produk Bioteknologi Konvensional

Pelajarilah kembali uraian tentang bioteknologi, kemudian lakukan langkah-langkah berikut.

1. Siapkan alat tulis serta peralatan lain untuk keperluan mencari informasi di internet.
2. Carilah informasi tentang berbagai produk hasil bioteknologi konvensional serta carilah salah satu cara pembuatan (fermentasi) produk tersebut (kalian dapat memilih fermentasi pada kecap atau tauco).
3. Buatlah bagan menurut pemahaman kalian sendiri, tentang proses fermentasi yang kalian peroleh.
4. Setelah kalian mengetahui cara pembuatan kecap atau tauco atau produk bioteknologi konvensional yang lain, buatlah tabel yang menjelaskan perbedaan bioteknologi konvensional dengan bioteknologi modern.

No.	Bioteknologi	
	Konvensional	Modern
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

Uji Kompetensi

Kerjakanlah soal-soal berikut.

1. Apa yang kalian ketahui tentang teknologi dan bioteknologi?
2. Jelaskan prinsip dari bioteknologi dan salah satu pendapat tentang definisi bioteknologi dari beberapa ahli.
3. Jelaskan perbedaan prinsip antara bioteknologi konvensional dan bioteknologi modern.
4. Jelaskan tentang teknologi hibridoma.
5. Buatlah bagan dan jelaskan tentang teknik transplantasi nukleus pada katak.

Kalian telah memahami dengan baik pengertian bioteknologi dan jenis-jenisnya, bukan? Selanjutnya, kalian akan mempelajari tentang implikasi bioteknologi berikut ini.

B. Implikasi (Dampak) Bioteknologi pada Sains, Lingkungan, Teknologi, dan Masyarakat

Sampai saat ini, perkembangan ilmu masih akan terus berkembang di kemudian hari. Seiring perkembangan tersebut, bioteknologi mempunyai dampak positif maupun dampak negatif.

1. Dampak Positif

Bioteknologi mempunyai dampak (implikasi) bagi perkembangan berbagai bidang, baik bidang pangan, pertanian, kesehatan dan pengobatan, maupun bidang peternakan. Dampak positif dari bioteknologi adalah dihasilkannya produk-produk yang bermanfaat bagi peningkatan kesejahteraan manusia.

a. Produk Bioteknologi pada Berbagai Bidang

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, ilmu yang satu saling berkaitan dengan ilmu yang lainnya. Oleh karena itu, perkembangan suatu ilmu juga berdampak pada perkembangan ilmu yang lain.

Mikroorganisme yang dikembangkan dalam bioteknologi mampu mengubah bahan mentah hingga memiliki nilai tambah lebih tinggi, seperti pada pembuatan obat-obatan dan pembuatan makanan (mengubah bahan pangan). Beberapa produk bioteknologi dapat kalian lihat pada tabel berikut.

Tabel 9.2. Produk Bioteknologi Konvensional dan Modern pada Berbagai Bidang Ilmu

Bidang	Bioteknologi	
	Konvensional	Modern
1. Kesehatan dan Pengobatan	a. Zat penghambat estrogen (untuk program KB).	a. Menghasilkan hormon pertumbuhan (STH = Somatotroph Hormon).

Galeri

Penemuan Penisilin



Penisilin secara tak sengaja ditemukan oleh Sir **Alexander Fleming** pada tahun 1928, ketika sedang meneliti influenza. Fleming memerhatikan sebuah bidang yang sangat bersih pada cawan petri yang berisi biakan bakteri. Pengujian menunjukkan bahwa bidang yang bersih itu dikelilingi sebuah bercak jamur yang menghasilkan antibiotik pembunuh bakteri. Setelah diidentifikasi, jamur tersebut merupakan genus *Penicillium*. Kemudian, ia menamakan antibiotik yang ditemukannya dengan nama Penisilin.

Roberts, Serendipity, hlm. 161

	<p>b. Metabolit sekunder, seperti antibiotik penisilin oleh <i>Penicillium chrysogenum</i> dan <i>P. notatum</i>, kloromfenikol oleh <i>Streptomyces venezuelae</i>, gramisidin (<i>Bacillus brevis</i>), tetrasiklin (<i>Streptomyces aureofaciens</i>), dan streptomisin oleh <i>Streptomyces griseus</i>.</p>	<p>b. Manipulasi produk vaksin oleh <i>Escherichia coli</i> dan antibiotik baru hasil fusi sel. c. Interferon, merupakan antibiotik yang dimodifikasi dan berfungsi untuk melawan melanoma (kanker darah) dan membantu menyembuhkan rematik tulang. d. Antibodi monoklonal, untuk mendiagnosis penyakit dan meningkatkan kekebalan tubuh terutama terhadap kanker. e. Protein hasil rekayasa genetika untuk mengatasi penyakit jantung dan stroke.</p>
2. Pangan	<p>a. Tempe dengan jamur <i>Rhizopus oryzae</i>. b. Oncom dengan jamur <i>Monilia sitophila</i>. c. Tape singkong dengan jamur ragi <i>Saccharomyces cereviceae</i>. d. Keju dan yogurt dari susu dan menggunakan bakteri <i>Lactobacillus</i> sp. e. <i>Nata de coco</i>, brem bali, kecap, tauco, minuman anggur, bir, sake, roti, cuka, asinan, minuman beralkohol, dan susu fermentasi. f. Asam amino (asam glutamat) sebagai penambah rasa (MSG) dan lisin yang berperan dalam pembuatan roti.</p>	<p>a. Makanan sup, keju, saus, kue, dan pizza. b. Makanan dari bahan kentang (keripik kentang) yang mengandung sedikit pati dan tidak banyak menyerap minyak saat digoreng, sehingga lebih sehat dimakan. c. Makanan manis seperti cokelat, es krim, makanan sereal, dan beberapa makanan bayi. d. Tomat yang berair banyak dan segar. e. Minyak goreng kanola.</p>
3. Pertanian	<p>a. Hidroponik (cara bercocok tanam tanpa menggunakan media tanah). b. Pembuatan kompos padat. c. Apel hasil persilangan yang mempunyai sifat segar berair dan tahan penyakit.</p>	<p>a. Menghasilkan tanaman kedelai unggul (kedelai tengger dan kedelai camar hijau) melalui radiasi dan seleksi biji-biji kedelai. b. Tanaman kedelai, jagung, kapas, dan kanola yang tahan terhadap herbisida atau insektisida. c. Tanaman melon yang masak lebih lambat sehingga tetap segar lebih lama, dan stroberi yang lebih manis. d. Biji gandum yang besar dan enak. e. Jagung modern dengan biji yang besar dan segar berair.</p>

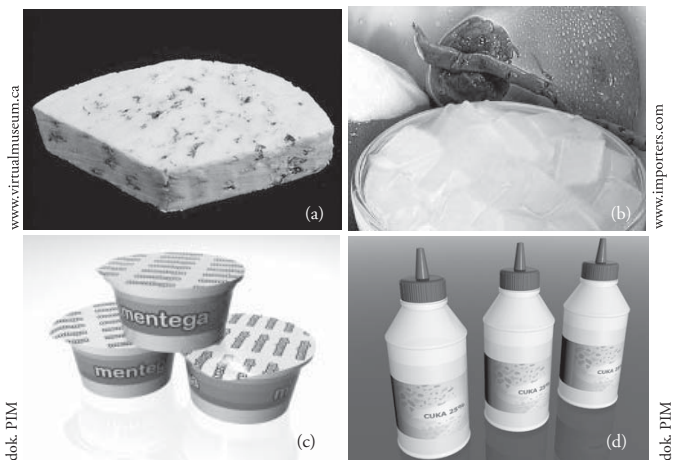
4. Peternakan	a. Menghasilkan domba Marino berkaki pendek. b. Sapi Jersey hasil seleksi, menghasilkan banyak susu.	a. Anak zebra yang mempunyai garis-garis persis dengan induknya. b. Babi dan ikan yang tumbuh besar dan cepat. c. Domba Dolly hasil kloning yang mirip dengan induknya.
5. Industri	a. Mentega oleh bakteri asam laktat. b. Asam sitrat oleh <i>Aspergillus niger</i> , asam laktat oleh <i>Lactobacillus</i> sp. c. Protein sel tunggal oleh <i>Chlorella</i> sp. dan <i>Spirulina</i> sp. d. Enzim amilase oleh <i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> , dan <i>Bacillus subtilis</i> . e. Vitamin B12 oleh <i>Pseudomonas</i> sp. dan <i>Propioni bacterium</i> .	a. Beberapa produk manipulasi vaksin.

Selain produk-produk yang telah disebutkan pada Tabel 9.3, produk-produk lain dari bioteknologi yang bermanfaat bagi peningkatan kesejahteraan yaitu:

1) Pembasmi hama tanaman

Penerapan bioteknologi untuk pembasmian hama tanaman dengan memanfaatkan mikroorganisme disebut *biological control*. Salah satu contoh mikroorganisme yang digunakan adalah *Bacillus thuringiensis*, yaitu bakteri yang digunakan sebagai patogen terhadap hama tanaman (ulat). Beberapa bakteri *Bacillus thuringiensis* yang dikembangkan untuk membasmi hama tanaman adalah:

- Bacillus thuringiensis* varietas tenebrionis, menyerang kumbang kentang Colorado dan larva kumbang kayu.
- Bacillus thuringiensis* varietas kurstaki, menyerang berbagai jenis ulat tanaman pertanian.
- Bacillus thuringiensis* varietas israelensis, menyerang nyamuk dan lalat hitam.
- Bacillus thuringiensis* varietas aizawai, menyerang larva ngengat.



Gambar 9.10 Berbagai produk bioteknologi
 (a) keju
 (b) nata de coco
 (c) mentega
 (d) cuka

Galeri

Racun Bt Menghentikan Hama Tanaman

Di Amerika Utara, ulat akar jagung dapat menghancurkan tanaman jagung. Akan tetapi, para ahli mampu mengatasi hal ini dengan membentuk racun Bt oleh bakteri tertentu. Racun tersebut dapat membunuh hama (serangga) dan aman bagi manusia. Caranya adalah menambahkan gen pembunuh serangga tersebut ke dalam tanaman jagung, sehingga jagung dapat membunuh sendiri hama tanaman.

Green, Makanan Rekayasa Genetika, hlm. 15

Selain pembasmi hama tanaman, rekayasa genetika juga mampu menghasilkan mikrobia (mikroorganisme) yang membunuh bakteri pembentuk salju (*snow maker*) atau kristal es yang merusak tanaman (*Pseudomonas syringae*).

2) Tanaman Pengikat Nitrogen

Bioteknologi dapat menghasilkan tanaman yang mampu mengikat nitrogen bebas dari udara dengan menggunakan bakteri seperti *Rhizobium* dan *Acetobacter*.

3) Pengelola limbah

Bioteknologi dapat menghasilkan mikroorganisme strain baru yang dapat mengurangi polutan. Bakteri *Clostridium butyricum* digunakan untuk mengatasi limbah cair yang mengandung gula sebagai limbah buangan dari pabrik alkohol. Bakteri tersebut mampu menguraikan gula menjadi gas H_2 .

Bakteri kelompok metanogen (penghasil metana), yaitu *Metanomonas mecnica* dapat menguraikan limbah bahan-bahan organik (kotoran ternak). Mikroorganisme dapat digunakan dalam proses bioremediasi karena mengurangi bahan-bahan polutan dan meningkatkan kualitas tanah dan air.

4) Pemisah logam dari bijihnya

Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* merupakan bakteri yang memperoleh energi hasil oksidasi zat anorganik (besi dan belerang pada batuan), sehingga tergolong dalam kemolitotrof. Bakteri ini dapat tumbuh subur pada lingkungan tanpa zat organik karena dapat menggunakan karbon langsung dari CO_2 di udara dan dapat tumbuh pada lingkungan asam.

Berikut ini adalah tahapan bakteri, dalam memisahkan tembaga dari bijihnya:

- Bakteri bereaksi dan melarutkan senyawa belerang dan besi dalam batuan. Selanjutnya, bakteri mengoksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} .
- Unsur S dalam FeS_2 bereaksi dengan ion hidrogen dan molekul oksigen membentuk H_2SO_4 .
- Ion Fe^{3+} pada bijih yang mengandung $CuSO_4$, mengoksidasi ion Cu^+ menjadi Cu^{2+} dan bereaksi dengan SO_4^{2-} dari H_2SO_4 sehingga membentuk $CuSO_4$.
- Reaksi selanjutnya adalah sebagai berikut:



5) Menghasilkan bayi tabung

Pada umumnya, pasangan yang menginginkan bayi tabung adalah pasangan yang mempunyai hambatan dalam menghasilkan keturunan

(infertilitas). Beberapa penyebab infertilitas yaitu tersumbatnya saluran sel telur pada istri (35%), masalah antibodi, lendir mulut rahim tidak normal, endometriosis, dan masalah sperma suami.

Untuk menjalankan proses bayi tabung, pertama-tama sperma dari orang tua yang akan digunakan untuk membentuk bayi tabung disimpan secara terjaga (melalui pembekuan) pada suatu tempat penyimpanan khusus yang disebut bank sperma. Pengambilan sel telur dilakukan melalui teknik yang disebut laparoskopi. Bayi tabung dihasilkan melalui penyatuan atau penggabungan sel telur dan sperma secara *in vitro* (di dalam tabung khusus dengan kondisi sama seperti kondisi di dalam rahim). Setelah mengalami masa kultur beberapa waktu, zigot atau embrio ditanam di dalam rahim wanita. Embrio semakin berkembang di dalam rahim dan akhirnya wanita tersebut dapat melahirkan.

Sebelum menggunakan metode bayi tabung, untuk menolong pasangan suami-istri tidak subur digunakan teknik inseminasi buatan, yakni penyemprotan sejumlah cairan semen suami ke dalam rahim dengan bantuan alat suntik. Dengan cara ini, diharapkan sperma lebih mudah bertemu dengan sel telur. Namun, tingkat keberhasilannya hanya 15%.

Sebelum kalian melanjutkan bahasan tentang dampak negatif bioteknologi, ikutilah rubrik *Diskusi* berikut.

Galeri

Bayi Tabung Pertama

Metode bayi tabung di Inggris berhasil menghadirkan bayi perempuan bernama Louise Brown pada tahun 1978. Sejak kelahiran Brown, teknik bayi tabung atau *In Vitro Fertilization* (IVF) semakin populer di dunia. Di Indonesia, IVF pertama kali diterapkan di Rumah Sakit Anak-Ibu (RSAB) Harapan Kita, Jakarta, pada tahun 1987. Teknik tersebut berhasil melahirkan bayi tabung pertama, Nugroho Karyanto, pada 2 Mei 1988. Setelah itu, lahir sekitar 300 “adik” Nugroho, di antaranya dua kelahiran kembar empat.

www.indomedia.com

Diskusi

Bagaimanakah pendapat kalian tentang adanya berbagai produk yang dihasilkan dari proses rekayasa genetika, terutama tanaman dan hewan transgenik? Diskusikan hal ini dengan kelompok kalian dan jelaskan di depan kelas.

2. Dampak Negatif

Pada umumnya, bioteknologi memberikan manfaat. Akan tetapi, tidak selamanya hasil bioteknologi selalu menguntungkan. Beberapa dampak negatif bioteknologi yaitu:

a. Mengancam kelestarian alam

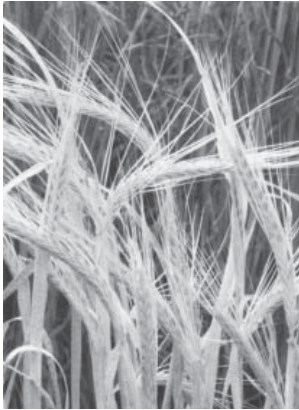
Sebagian orang menganggap bahwa produk hasil rekayasa genetika tidak selalu mengalami pengujian secara ketat dan sempurna. Oleh karena itu, mereka juga menyatakan bahwa produk hasil rekayasa genetika (terutama tanaman transgenik) hendaknya tidak ditanam sebelum adanya pengujian yang benar-benar meyakinkan. Nampaknya, bioteknologi juga dapat memengaruhi kehidupan alam ini karena:

1) Jagung hasil rekayasa genetik dapat membunuh ulat yang tidak berbahaya

Selain membunuh hama penyakit, tanaman transgenik juga dapat membunuh hama yang tidak merusak tanaman. Serbuk sari tanam-

Kilas

Di kelas X, kalian telah mempelajari bahwa aliran energi terjadi melalui sistem atau rantai makanan dari produsen, konsumen I, konsumen II, dan seterusnya. Apa yang terkandung pada individu produsen, akan semakin terakumulasi pada konsumen yang lebih tinggi.



Gambar 9.11 Tanaman mengandung gen rekayasa genetika.

an jagung transgenik dapat membunuh ulat kupu-kupu Monarch, meskipun ulat tersebut tidak merusak tanaman jagung. Bahkan, racun tanaman tersebut dapat masuk ke dalam tanah dan dapat merugikan organisme di dalamnya.

2) Tanaman rekayasa genetika dapat membahayakan burung

Organisme lain yang terkena dampak adanya tanaman transgenik adalah burung, baik burung pemakan biji tanaman maupun burung pemakan serangga. Racun yang ada pada tanaman transgenik akan masuk ke dalam tubuh serangga pemakan tanaman tersebut. Apabila burung memangsa serangga tersebut, maka burung juga akan membawa racun dari tanaman transgenik.

3) Agen penyerbuk dapat menyebarkan gen-gen rekayasa genetika

Lebah, angin, dan beberapa serangga penyerbuk berperan dalam memindahkan serbuk sari suatu tanaman ke tanaman yang lain. Jika serbuk sari dari tanaman hasil rekayasa genetika menyebar pada tanaman biasa (bukan hasil rekayasa genetika), maka gen-gen rekayasa genetika dapat pula menyebar pada tanaman yang lain.

4) Rekayasa genetika dapat menghasilkan gulma-gulma super

Gen-gen hasil rekayasa genetika yang digunakan sebagai herbisida dapat berpindah pada gulma. Seiring berjalannya waktu, gulma tersebut akan dapat menyesuaikan diri terhadap racun tanaman. Akibatnya, gulma menjadi semakin tahan terhadap racun herbisida tersebut dan menghasilkan gulma-gulma super.

b. Mengancam kesehatan

Selain faktor lingkungan, dampak bioteknologi juga berpengaruh pada kesehatan masyarakat, antara lain:

1) Kedelai transgenik dapat menyebabkan gangguan kesehatan

Pada tahun 1990-an, rekayasa genetika dapat menghasilkan kedelai transgenik yang mengandung gen kacang Brasil. Akan tetapi, beberapa orang yang mengonsumsi kedelai tersebut menunjukkan alergi atau reaksi yang buruk.

2) Makanan dari bahan kentang dapat mengganggu kesehatan

Meskipun kentang yang mengandung sedikit pati (lebih sedikit menyerap minyak goreng dan dikatakan makanan sehat) dapat dihasilkan melalui rekayasa genetika, hal ini tetap membuat para ahli khawatir dan menganggap makanan-makanan sehat yang lain lebih aman dikonsumsi.

3) Gen rekayasa genetika dapat menimbulkan masalah tulang

Tikus, hewan, dan ayam merupakan hewan yang digunakan untuk menguji makanan hasil rekayasa genetika sebelum dikonsumsi manusia. Para ahli menguji kentang transgenik pada tikus dan ternyata membahayakan organ-organ dalam tikus. Selain itu, masuknya

gen rekayasa genetika dalam tubuh babi menyebabkan adanya masalah pada tulang.

3. Solusi untuk Mengatasi Kontroversi Rekayasa Genetika

Seperti telah kalian ketahui bahwa tidak semua orang menerima dengan positif hasil dari rekayasa genetika. Berikut ini adalah beberapa solusi yang dapat dipilih sebagai jalan terbaik untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia.

a. Peningkatan peralatan pertanian yang canggih dan mencukupi

Peralatan pertanian yang canggih memungkinkan peningkatan produksi pangan. Pengelolaan tanah dan penyediaan air yang baik dalam pertanian dapat menghasilkan bahan makanan yang lebih banyak dan berkualitas.

Negara yang maju dan kaya dapat membantu memberikan peralatan pertanian yang canggih bagi negara-negara miskin, untuk meningkatkan produk pertanian. Tidak menutup kemungkinan, hal ini dapat mengatasi masalah kelaparan yang melanda dunia.

b. Mengembangkan teknik pertanian hidroponik

Hidroponik merupakan cara untuk mengatasi keinginan menghasilkan tanaman rekayasa genetika, terutama di daerah yang kaya air tetapi tandus. Hidroponik adalah cara menumbuhkan tanaman tanpa medium tanah, tetapi menggunakan air yang mengandung mineral-mineral penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Misalnya, stroberi dapat tumbuh tanpa tanah.

c. Menggunakan metode alami untuk menghasilkan tanaman

Para petani melakukan metode alami untuk mengatasi metode rekayasa genetika. Salah satu contohnya adalah menggunakan serangga pemakan hama (kumbang koksinelid) untuk mengganti bahan kimiawi pembasmi hama. Sebagian pihak menganggap cara ini lebih baik dibanding cara rekayasa genetika.

Nah, setelah kalian mempelajari secara lengkap tentang bioteknologi, lakukanlah rubrik *Telisik* dan *Uji Kompetensi* berikut.



Gambar 9.12 Tanaman hidroponik

Campbell, Reece, & Mitchell, *Biologi 2*, hlm. 341

T e l i s i k

Membandingkan Pendapat Tentang Bayi Tabung

Lakukanlah kegiatan ini dengan menelusuri informasi melalui internet, surat kabar atau sumber yang lainnya. Lakukanlah langkah-langkah berikut.

1. Siapkanlah peralatan yang diperlukan dalam pencarian informasi di berbagai sumber.
2. Carilah informasi tentang berbagai pendapat tentang bayi tabung, baik berupa artikel atau dalam bentuk berita.

3. Buatlah tabel yang menunjukkan alasan orang menolak atau mendukung adanya bayi tabung.

No.	Alasan	
	Menolak	Mendukung
1.		
2.		
3.		
4.		

4. Presentasikan hasil pencarian informasi kalian dan berilah tanggapan terhadap berbagai pendapat tersebut di depan kelas.

Uji Kompetensi

Kerjakanlah soal-soal berikut ini.

- Jelaskan peran mikroorganisme dalam bioteknologi.
- Sebutkan beberapa bidang yang terpengaruh oleh adanya bioteknologi.
- Jelaskan implikasi bioteknologi konvensional dan modern pada bidang kesehatan dan pengobatan.
- Sebutkan beberapa dampak negatif dari bioteknologi teknologi.
- Jelaskan tentang implikasi bioteknologi yang berperan dalam pengelolaan limbah.

I k h t i s a r

- Bioteknologi merupakan teknologi pemanfaatan mikroorganisme untuk menghasilkan produk yang berguna bagi manusia.
- Beberapa ahli yang mendefinisikan arti bioteknologi, antara lain: Bull Etaf (1982), Smith (1981), Tri Wibowo (2001), dan Primrose (1987).
- Sejalan dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, bioteknologi dibedakan menjadi dua jenis, yaitu bioteknologi konvensional dan bioteknologi modern.
- Rekayasa genetika adalah suatu metode biokimiawi atau manipulasi gen, dengan cara menyisipkan (*insert*) atau menggabungkan gen yang dikehendaki ke dalam suatu organisme.
- Ciri atau sifat dari bioteknologi konvensional, antara lain: masih menerapkan teknik-teknik biologi, bioteknologi, dan rekayasa genetika yang terbatas, masih menggunakan mikroorganisme seadanya, belum mengembangkan teknik sampai tingkatan molekuler yang terarah, belum sepenuhnya steril (bebas dari mikrobia yang tidak diinginkan), jumlah produknya relatif sedikit, serta kualitasnya belum terjamin.
- Produk-produk lain dari bioteknologi konvensional, antara lain: bahan bakar (metana, etana, dan propana), enzim (enzim α -amilase, lipase, dan proteinase), metabolit primer (asam-asam organik dan alkohol), metabolit sekunder (zat warna dan antibiotik), dan asam amino (zat glutamat dan lisin).
- Metode-metode mutakhir bioteknologi (*currents methods of biotechnology*), antara lain: kultur jaringan dan rekayasa genetika (teknologi DNA rekombinan, transplantasi nukleus, kloning, dan teknologi hibridoma).
- Kultur jaringan merupakan suatu teknik atau metode untuk mengisolasi bagian-bagian tanaman (sel, jaringan, atau organ seperti akar, batang, daun, dan pucuk) kemudian menumbuhkan bagian tersebut secara aseptis (teknik untuk mendapatkan kondisi suci hama) di dalam atau di

atas medium budidaya (*in vitro*). Dengan demikian, bagian-bagian tanaman tersebut dapat memperbanyak diri dan dapat menjadi tanaman lengkap kembali.

11. Transplantasi atau pemindahan nukleus dari satu sel ke sel yang lain dapat menghasilkan individu yang baru.
12. Kloning adalah suatu metode untuk menghasilkan keturunan atau individu yang identik secara genetik dengan induknya.
13. Teknologi hibridoma adalah suatu metode penggabungan (fusi) dua macam sel dari organisme yang sama atau berbeda untuk mendapatkan sel hibrid (hibridoma) yang mempunyai kombinasi kedua sifat tersebut.
14. Mikroorganisme yang dikembangkan dalam bioteknologi mampu mengubah bahan mentah menjadi memiliki nilai tambah lebih tinggi, misalnya pada pembuatan makanan dan mengubah bahan pangan, pembuatan obat-obatan, membasmi hama tanaman, menanggulangi masalah pencemaran, dan pemisahan bijih logam.
15. Bioteknologi menghasilkan dampak positif dan negatif pada sains, lingkungan, teknologi, dan masyarakat.
16. Dampak positif bioteknologi, antara lain: menghasilkan pembasmi hama tanaman, menghasilkan tanaman pengikat nitrogen, berperan dalam pengelolaan limbah, dalam pemisahan logam dari bijihnya, dan menghasilkan bayi tabung.
17. Dampak negatif bioteknologi, antara lain: mengancam kelestarian alam, menghasilkan gulma-gulma super, serta dapat mengancam kesehatan.

Senarai kata

Aseptis Usaha untuk menjaga keadaan sekitar (lingkungan) tetap steril

Diferensiasi Sel yang mengalami perkembangan sedemikian rupa, sehingga sel menjadi berbeda secara fungsional dan struktural dibandingkan dengan sel di sekitarnya

Endometriosis Pertumbuhan lapisan lendir (endometrium) pada tempat yang tidak semestinya (misalnya pada ovarium)

Herbisida Senyawa kimia yang berfungsi sebagai racun atau penghambat hama (gulma) tanaman.

Hibridoma Sel-sel hasil fusi (penggabungan) dua sel dari organisme yang sama atau berbeda

Inkubator Alat atau tempat yang digunakan untuk menginkubasi atau memelihara suatu kultur

Klon Individu hasil kloning atau hasil dari teknologi DNA rekombinan, yang mempunyai sifat identik secara genetik dengan induknya

Kemolitotrof Sifat organisme yang menggunakan sumber energi berupa bahan kimia, menggunakan sumber karbon, dan penerima elektron berupa zat anorganik

Metabolit sekunder Senyawa hasil metabolisme yang tidak berperan langsung dalam pertumbuhan organisme penghasilnya

Mieloma Kanker yang sangat ganas dan sel-selnya terus membelah

Plasma nutfah Variasi genotip dan fenotip berdasarkan keseragaman morfologi (bentuk luar) suatu tumbuhan

Protoplas Disebut sel telanjang, merupakan sel yang telah kehilangan dinding selnya

Steril Keadaan bebas dari mikrobia atau mikroorganisme yang tidak diinginkan

Sterilisasi Proses yang dilakukan untuk mendapatkan keadaan steril pada alat dan bahan

Transplantasi nukleus Pemindahan atau penyisipan nukleus dari satu sel ke sel lain yang berbeda

ZPT Zat pengatur tumbuh, merupakan senyawa organik yang ditambahkan dari luar secara sengaja pada suatu medium kultur (bukan berasal dari tumbuhan itu sendiri) untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan kultur

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

- Pemanfaatan mikroorganisme untuk menghasilkan produk yang berguna bagi manusia dan perkembangan ilmu terapan yang menyebabkan transformasi atau perubahan, baik tentang teknik, prosedur, atau bahan, sesuai dengan kebutuhan proses produksi merupakan definisi dari
 - fermentasi dan produksi
 - teknologi dan bioteknologi
 - produksi dan fermentasi
 - bioteknologi dan fermentasi
 - bioteknologi dan teknologi
- Berikut adalah beberapa pernyataan tentang bioteknologi:
 - merupakan bidang penerapan yang mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu pengetahuan alam dan teknologi
 - melibatkan mikrobiologi, biokimia, dan rekayasa genetika untuk menghasilkan produk dan jasa
 - dalam sejarah perkembangannya, seluruh produk bioteknologi dihasilkan dalam kondisi steril
 - memanfaatkan bakteri, ragi, kapang, alga, dan sel jaringan tumbuhan atau hewan yang dibiakkan
 - dikembangkan untuk meningkatkan nilai tambah bahan mentahpernyataan yang benar tentang bioteknologi adalah
 - semua benar
 - 1), 2), 3), dan 4) saja
 - 1), 2), 4), dan 5) saja
 - 2), 3), 4), dan 5) saja
 - 1), 2) dan 5) saja
- Berikut merupakan ciri-ciri bioteknologi:
 - menerapkan teknik-teknik biologi, bioteknologi, dan rekayasa genetika yang terbatas
 - menghasilkan produk steril
 - kualitasnya standar
 - menggunakan mikroorganisme seadanya
 - belum mengembangkan teknik sampai tingkatan molekuler yang terarah
 - belum sepenuhnya steril
 - jumlah produknya relatif sedikit
 - produksi dalam jumlah lebih banyak
 - kualitas terjaminYang merupakan ciri bioteknologi konvensional antara lain
 - 1), 2), 3), 4), dan 5)
 - 2), 3), 8), dan 9)
 - 2), 4), 6), dan 7)
 - 1), 4), 5), 6), dan 7)
 - 1), 2), 5), 7), dan 9)
- Berdasarkan soal nomor 7, yang merupakan ciri bioteknologi modern adalah
 - 1), 2), 3), 4), dan 9)
 - 2), 3), 8), dan 9)
 - 2), 4), 6), dan 8)
 - 1), 4), 5), 6), dan 7)
 - 1), 2), 5), 7), dan 9)
- Yang merupakan contoh bioteknologi konvensional adalah
 - kloning
 - fermentasi
 - kultur jaringan
 - teknologi hibridoma
 - teknologi DNA rekombinan
- Yang merupakan produk bioteknologi modern adalah
 - hormon insulin
 - alkohol dan asam organik
 - bahan bakar berupa metana, etana, dan propana
 - enzim amilase, lipase, dan proteinase
 - asam glutamat dan lisin
- Prinsip dari kultur jaringan tumbuhan adalah

- a. memperbanyak tanaman secara vegetatif dari berbagai tanaman
 - b. meningkatkan nutrisi tanaman hingga tanaman cepat membentuk jaringan
 - c. memperbaiki kondisi lingkungan tanaman yang sedang tumbuh
 - d. menjaga kondisi lingkungan agar tanaman berkembang biak dengan cepat
 - e. menyilangkan tanaman yang mempunyai sifat unggul untuk memperbaiki keturunan
8. Tahapan berurutan yang dilakukan dalam teknik kultur jaringan adalah
 - a. persiapan, aklimatisasi, inokulasi, dan pemeliharaan
 - b. aklimatisasi, persiapan, pemeliharaan, dan inokulasi
 - c. persiapan, pemeliharaan, aklimatisasi, dan inokulasi
 - d. persiapan, inokulasi, pemeliharaan, dan aklimatisasi
 - e. aklimatisasi, persiapan, inokulasi, dan aklimatisasi
 9. Proses penanaman kultur ke dalam medium budidaya disebut
 - a. aklimatisasi
 - b. inokulasi
 - c. sterilisasi
 - d. inkubasi
 - e. aseptis
 10. Usaha untuk menjaga agar kondisi lingkungan sekitar tetap steril disebut
 - a. sterilitas
 - b. sterilisasi
 - c. teknik aseptis
 - d. kontaminasi
 - e. polusi
 11. Zat yang diambil dari sel khusus pada limpa dan mampu mengikat antigen disebut
 - a. interferon
 - b. antibodi monoklonal
 - c. hormon pertumbuhan
 - d. protein sel tunggal
 - e. plasmid rekombinan
 12. Suatu metode untuk menghasilkan keturunan atau individu yang identik secara genetik dengan induknya disebut
 - a. kultur jaringan
 - b. teknologi hibridoma
 - c. transplantasi nukleus
 - d. kloning
 - e. teknologi plasmid
 13. Domba Dolly merupakan salah satu contoh produk dari teknik
 - a. kultur jaringan
 - b. teknologi hibridoma
 - c. persilangan
 - d. kloning
 - e. teknologi plasmid
 14. Yang merupakan contoh hasil teknologi DNA rekombinan dan teknologi hibridoma adalah
 - a. domba Dolly dan antibodi monoklonal
 - b. insulin dan antibodi monoklonal
 - c. domba Dolly dan insulin
 - d. antibodi monoklonal dan domba Dolly
 - e. insulin dan antibodi monoklonal
 15. Pada bidang pertanian, bioteknologi modern berperan dalam
 - a. cara bertanam hidroponik
 - b. memperoleh tanaman sejenis melalui persilangan
 - c. menghasilkan kedelai unggul
 - d. pembuatan kompos padat
 - e. menghasilkan metabolit primer
 16. Bioteknologi konvensional menghasilkan beberapa produk, misalnya
 - a. tanaman jagung yang resisten
 - b. tomat yang berair banyak dan segar
 - c. tanaman kedelai unggul
 - d. ternak unggul hasil rekayasa genetika
 - e. antibiotik untuk membunuh bakteri atau fungi

17. Mikroorganisme penghasil streptomisin adalah
- Streptomyces griceus*
 - Bacillus thuringensis*
 - Aspergillus niger*
 - Rhizopus stolonifer*
 - Penicillium notatum*
18. Virus yang telah dilemahkan dan merangsang sistem imun, sehingga meningkatkan kekebalan atau pertahanan tubuh inang disebut
- interferon
 - antibiotik
 - penisilin
 - streptomisin
 - vaksin
19. Berikut merupakan berbagai dampak bioteknologi:
- pembasmi hama tanaman
 - pemisahan logam dari bijihnya
 - membunuh ulat yang tidak berbahaya
 - membahayakan burung
 - menyebarkan gen-gen rekayasa genetika
 - tanaman pengikat nitrogen
 - pengelolaan limbah
 - menghasilkan gulma-gulma super
 - kedelai transgenik menyebabkan beberapa orang sakit
 - menimbulkan masalah tulang
- Yang merupakan dampak positif bioteknologi adalah
- 2), 3), 6), dan 8)
 - 1), 2), 6), dan 7)
 - 3), 4), 5), dan 10)
 - 5), 7), dan 8)
 - 6), 7), dan 8)

20. Berdasarkan soal nomor 19, yang mengancam kelestarian alam adalah
- 1), 2), dan 3)
 - 2), 3), dan 4)
 - 3), 4), dan 5)
 - 7), 8), dan 9)
 - 8), 9), dan 10)

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

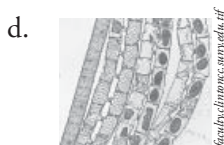
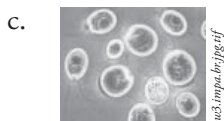
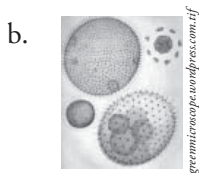
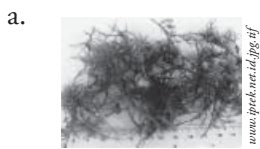
- Apakah yang dimaksud dengan kultur jaringan?
- Sebutkan manfaat dan keuntungan kultur jaringan.
- Apakah yang dimaksud dengan:
 - transgen
 - transgenik
 - klon
- Bagaimanakah pengertian antibodi monoklonal? Berikan contoh pembuatannya.
- Apakah yang dimaksud dengan kloning? Berikan contohnya.
- Sebutkan beberapa zat pengatur tumbuh yang digunakan dalam kultur jaringan.
- Jelaskan perbedaan bioteknologi konvensional dengan bioteknologi modern pada bidang pertanian, peternakan, dan pangan.
- Sebutkan beberapa agen mikrobia dan antibiotik yang dihasilkan.
- Jelaskan dampak bioteknologi yang dapat menghasilkan gulma-gulma super.
- Sebutkan beberapa solusi untuk mengatasi masalah rekayasa genetika.

Latihan Ujian Akhir Sekolah

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

- Objek biologi yang untuk mempelajarinya dibutuhkan alat bantu berupa mikroskop adalah
 - sel, jaringan, dan individu
 - atom, molekul, dan sel
 - virus, bakteri, dan protista
 - organel, sel, dan jaringan
 - jaringan, individu, dan populasi
- Bakteriophage adalah virus yang menyerang bakteri
 - Balantidium coli*
 - Escherichia coli*
 - Salmonella* sp.
 - Mycobacterium* sp.
 - Clostridium plasteurianum*

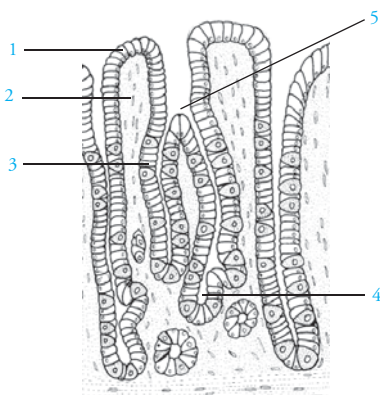
- Contoh anggota Rodophyta ditunjukkan oleh gambar



- Salah satu manfaat jamur di bidang kesehatan adalah
 - menghasilkan aflatoksin
 - menyebabkan kurap atau panu
 - menghasilkan penisilin
 - parasit pada tanaman dan hewan
 - membentuk lumut kerak
- Keanekaragaman suatu komunitas yang terdiri dari hewan, tumbuhan, dan mikroorganisme di suatu habitat disebut
 - keanekaragaman hayati
 - keanekaragaman abiotik
 - keanekaragaman gen
 - keanekaragaman jenis
 - keanekaragaman ekosistem
- Spora tumbuhan lumut yang jatuh pada tempat yang sesuai akan tumbuh membentuk
 - sporofit
 - sporogonium
 - tumbuhan lumut
 - protonema
 - protalium
- Salah satu ciri khas Planaria adalah
 - adaptif pada semua kondisi lingkungan
 - hidup sebagai parasit
 - mampu bereproduksi secara generatif
 - daya regenerasinya tinggi
 - memiliki sel-sel penyengat
- Ditinjau dari fungsinya, organisme yang berperan penting dalam mengembalikan unsur hara ke dalam ekosistem adalah
 - konsumen dan produsen
 - produsen dan detritivora
 - detritivora dan dekomposer
 - konsumen dan pengurai
 - dekomposer dan predator
- Siapakah yang menemukan sel pertama kali?
 - Schleiden dan Schwann.
 - Gregor J. Mendel.

- c. Robert Browen.
 - d. Robert Hooke.
 - e. Antoonie Van Leuwenhook.
10. Salah satu organ yang berperan dalam sistem ekskresi adalah
- a. tenggorokan
 - b. lambung
 - c. jantung
 - d. ginjal
 - e. kerongkongan
11. Hubungan antar-ruas tulang belakang merupakan contoh tipe persendian
- a. sinartrosis sinkondrosis
 - b. sinartrosis sinfibrosis
 - c. amfiartrosis
 - d. diartrosis
 - e. sendi engsel
12. Jenis sel darah putih yang memiliki jumlah volume paling besar ialah
- a. neutrofil
 - b. basofil
 - c. eosinofil
 - d. limfosit
 - e. monosit
13. Penyakit yang timbul karena bronkus mengalami infeksi adalah
- a. faringitis
 - b. asidosis
 - c. asfiksi
 - d. pleuritis
 - e. bronkitis

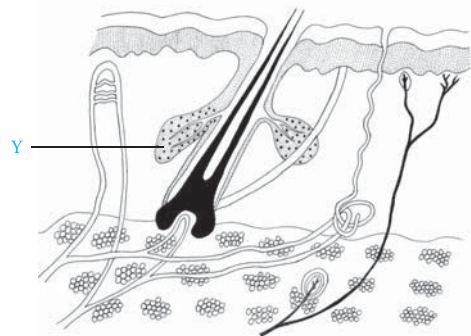
14. Perhatikan gambar berikut.



Asam klorida(HCl), pepsin, musin, dan renin disalurkan melalui bagian lambung yang ditunjukkan oleh nomor

- a. 1
- b. 2
- c. 3
- d. 4
- e. 5

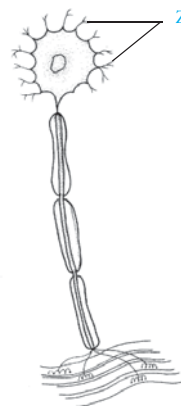
15. Perhatikan gambar berikut.



Bagian yang diberi label Y adalah

- a. kantung rambut
- b. pembuluh kapiler
- c. jaringan lemak
- d. kelenjar minyak
- e. lapisan Malpighi

16. Perhatikan gambar berikut.



Bagian sel saraf yang diberi label Z berfungsi untuk

- a. menerima impuls dari reseptor
- b. menghantarkan impuls dari badan sel menuju efektor

- c. mempercepat jalannya impuls
 d. melindungi akson sehingga impuls yang dibawa tidak bocor
 e. memperbanyak impuls saraf
17. Testis yang terdapat pada alat reproduksi pria berfungsi sebagai
 a. penghasil sperma dan hormon kelamin
 b. tempat Bergeraknya sperma dari epididimis menuju kantung semen
 c. saluran yang dilalui sel sperma untuk Bergerak menuju uretra
 d. tempat ekskresi urine dari kantung kemih
 e. penyuplai bahan penting sehingga sperma tetap hidup
18. Pembelahan meiosis I pada oogenesis menghasilkan
 a. 1 oosit sekunder dan 1 badan kutub sekunder
 b. 1 oosit sekunder dan 2 badan kutub sekunder
 c. 1 oosit sekunder dan 1 badan kutub primer
 d. 1 oosit sekunder dan 2 badan kutub primer
 e. 1 oosit primer dan 1 badan kutub sekunder
19. Proses pembuangan antigen dapat dilakukan dengan cara pengaktifan rentetan molekul protein komplemen, sehingga antigen yang masuk ke dalam tubuh menjadi lisis. Cara demikian dinamakan
 a. netralisasi
 b. fiksasi komplemen
 c. opsonisasi
 d. aglutinasi
 e. fagositosis
20. Imunisasi yang diberikan kepada individu dari spesies yang sama disebut....
 a. vaksinasi
 b. imun
 c. autoimun
 d. isoimun
 e. heteroimun
21. Berikut merupakan pernyataan tentang pertumbuhan dan perkembangan:
 1) terjadi diferensiasi dan pematangan organ
 2) tumbuhan meningkat menjadi dewasa
 3) terjadi penambahan volume
 4) bersifat irreversibel
 5) terjadi pembelahan dan penambahan sel
 6) tidak dapat dinyatakan secara kuantitatif
 7) menuju kesempurnaan
- Yang menunjukkan ciri-ciri pertumbuhan adalah nomor
 a. 1, 2, dan 3
 b. 1, 3, dan 5
 c. 3, 4, dan 5
 d. 4, 5, dan 6
 e. 4, 5, dan 7
22. Protoderm, meristem dasar, dan prokambium merupakan sistem jaringan yang terdapat pada daerah diferensiasi. Masing-masing akan membentuk
 a. epidermis, jaringan dasar, dan stele
 b. floem, epidermis, dan jaringan dasar
 c. epidermis, stele, dan jaringan dasar
 d. stele, epidermis, dan jaringan dasar
 e. xilem, epidermis, dan stele
23. Bagian pertumbuhan pada batang yang terdapat di kanan kiri meristem apikal disebut
 a. tunas aksiler
 b. jaringan pembuluh
 c. meristem apikal
 d. primordia daun
 e. tudung akar
24. Selain mengubah gliserol dan asam lemak menjadi lemak, enzim lipase juga dapat mengubah lemak menjadi gliserol dan asam lemak. Hal tersebut menunjukkan bahwa enzim lipase bersifat
 a. katalis
 b. biokatalis
 c. irreversibel
 d. reversibel
 e. aktivator

25. Proses pembentukan ATP yang menggunakan oksigen sebagai penerima elektron terakhir disebut
- karboksilasi
 - deaminasi
 - fosforilasi
 - fosforilasi tingkat substrat
 - fosforilasi oksidatif
26. Bagian kromosom yang berfungsi sebagai tempat melekatnya benang-benang gelondong pembelahan sel adalah
- lengan kromosom
 - kinetokor
 - kromonema
 - lekukan primer
 - lekukan sekunder
27. Berikut ini pernyataan yang benar tentang DNA adalah
- merupakan mikromolekul
 - tersusun oleh 2 macam nukleotida
 - mengandung gula ribosa
 - nukleotida yang satu dengan nukleotida yang lain dihubungkan oleh gugus fosfat
 - ikatan yang menghubungkan antara pasangan basa nitrogen adalah ikatan kovalen
28. Tahapan pembelahan yang menunjukkan bahwa kromosom berada pada pelat metafase adalah
- sitokinesis
 - telofase
 - anafase
 - metafase
 - profase
29. Bagian yang berperan dalam menentukan arah pembelahan sel adalah
- sentromer
 - aster
 - kromatid
 - kromosom
 - kiasma
30. Perbandingan epistasi resesif adalah
- 9 : 3 : 4
 - 15 : 1
 - 13 : 3
 - 9 : 7
 - 12 : 3 : 1
31. Perkawinan antara perempuan normal homozigot dan laki-laki buta warna akan menghasilkan keturunan dengan perbandingan fenotip
- 25% laki-laki normal dan 75% perempuan buta warna
 - 50% laki-laki normal dan 50% perempuan normal
 - 50% laki-laki normal dan 50% perempuan buta warna
 - semua anaknya normal
 - 75% laki-laki normal dan 50% perempuan normal
32. Mutasi alami dan mutasi buatan dibedakan berdasarkan
- jenis selnya
 - mekanisme terjadinya
 - materi genetiknya
 - manfaatnya
 - pengaruh yang ditimbulkannya
33. Peristiwa penggantian basa pirimidin pada rantai nukleotida DNA dengan basa pirimidin yang lain disebut
- transversi
 - delesi
 - duplikasi
 - inverse
 - transisi
34. Pandangan Darwin mengenai evolusi jerapah adalah
- jerapah memiliki leher panjang karena sering dijulurkan untuk mencapai dedaunan yang letaknya tinggi
 - sifat jerapah yang memiliki leher panjang diperoleh dari tetuanya
 - pada awalnya terdapat jerapah berleher pendek dan jerapah berleher panjang, tetapi jerapah yang berleher pendek punah karena seleksi alam
 - pada awalnya hanya terdapat jerapah berleher pendek

- e. jerapah berleher panjang jumlahnya lebih banyak dibandingkan jerapah berleher pendek
35. Penemuan 13 jenis burung finch di Kepulauan Galapagos oleh Darwin merupakan salah satu bukti petunjuk evolusi berupa
- bukti geografi
 - bukti anatomi
 - bukti embriologi
 - bukti biokimia
 - domestikasi
36. Fosil yang merupakan salah satu petunjuk evolusi termasuk bukti
- embriologi
 - anatomi
 - paleontologi
 - fisiologi
 - biokimia
37. Tokoh yang mengemukakan Teori *Generatio Spontanea* adalah
- Francesco Redi
 - Louis Pasteur
 - Lamarck
 - Aristoteles
 - John Needham
38. Fahaman Kreasionisme menjelaskan bahwa
- makhluk hidup berasal dari benda mati
 - makhluk hidup berasal dari bahan organik
 - makhluk hidup berasal dari bahan anorganik
 - makhluk hidup diciptakan oleh Tuhan
 - makhluk hidup berasal dari peristiwa mutasi dan seleksi alam
39. Salah satu produk bioteknologi adalah hormon insulin yang dihasilkan melalui metode
- kultur jaringan
 - teknologi hibridoma
 - kloning
 - teknologi DNA rekombinan
 - transplantasi nukleus
40. Mikrobia yang berperan dalam fermentasi tepe adalah
- Rhizopus oryzae*
 - Saccharomyces cereviceae*
 - Penicillium notatum*
 - Aspergillus niger*
 - Lactobacillus* sp.

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

- Ruang lingkup biologi meliputi objek biologi dan permasalahannya dari berbagai tingkat organisasi kehidupan. Jelaskan maksud pernyataan tersebut.
- Bandingkan organisme yang termasuk Archaeobacteria dan Eubacteria.
- Jelaskan pengertian dan manfaat sistem klasifikasi makhluk hidup.
- Sebutkan bermacam-macam gangguan lingkungan akibat aktivitas manusia dan upaya-upaya mengatasinya.
- Apakah yang dimaksud hipotonik, hipertonik, dan isotonik?
- Sebutkan perbedaan tempat melekat otot lurik, otot polos, dan otot jantung.
- Jelaskan perbedaan rumus gigi seri dan gigi dewasa.
- Sebutkan organ-organ yang berperan dalam sistem pernapasan manusia.
- Sebutkan dan jelaskan hormon yang dihasilkan kelenjar kelamin laki-laki dan perempuan.
- Apakah yang dimaksud dengan vasektomi dan tubektomi?
- Jelaskan bagaimanakah cara biji memperoleh makanan, pada saat biji belum berkecambah sampai saat biji mulai berkecambah.
- Sebutkan dan berilah contoh pengelompokan enzim berdasarkan terjadinya reaksi.
- Jelaskan hubungan antara gen, DNA, dan kromosom.

14. Gambarkan secara skematis dan berilah keterangan 8 inti yang terdapat dalam kandung lembaga muda.
15. Dapatkah sepasang suami istri yang bisu tuli menghasilkan keturunan yang semuanya normal? Jelaskan dan buatlah diagram perkawinannya.
16. Gambarkan skema terjadinya mutasi akibat duplikasi kromosom.
17. Sebutkan pokok-pokok pikiran yang melandasi ajaran Darwin.
18. Sebutkan alasan-alasan mengapa mutasi dapat memengaruhi *pool gen*, padahal kecepatan mutasi relatif lambat.
19. Jelaskan bagaimana Teori Evolusi Biokimia menjelaskan asal usul kehidupan.
20. Sebutkan masing-masing dua contoh produk hasil bioteknologi konvensional dan modern.

Kunci Jawaban

● Ulangan Harian Bab I

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

1. b
3. d
5. d
7. e
9. b
11. b
13. a
15. c
17. e
19. b

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. Hormon auksin terdapat pada ujung tunas (kuncup) dan berfungsi untuk merangsang pertumbuhan tunas pucuk. Peristiwa ini disebut dominansi pucuk atau dominansi apikal. Oleh karena itu, untuk menghambat pertumbuhan tunas pucuk atau memacu pertumbuhan tunas samping, dilakukan pemoangan bagian tunas pucuk.
3. Kelembaban tanah dan kelembaban udara memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Tanah yang kaya humus mampu menyimpan air lebih banyak, sehingga tanaman tumbuh lebih baik. Tanaman yang tumbuh dengan baik menghasilkan seresah lebih banyak dan mengikatnya meningkatkan bahan organik tanah. Udara mampu menyimpan air. Kadar air yang ada di udara disebut kelembaban udara. Kadar air di udara yang tinggi berpeluang untuk menjadi awan dan hujan. Air hujan masuk ke dalam tanah dan akan disimpan dalam tanah, menjamin ketersediaan air bagi tumbuhan.
5. a. Perkecambahan hipogeal: bakal batang tumbuh memanjang ke permukaan tanah, kotiledon tetap berada di dalam tanah. Contoh: perkecambahan kacang kapri (*Pisum sativum*), jagung (*Zea mays*).
 - b. Perkecambahan epigeal: hipokotil tumbuh menembus permukaan tanah sehingga kotiledon terangkat ke permukaan tanah. Contoh: perkecambahan pada kacang hijau (*Phaseolus* sp.), kacang tanah (*Arachis hypogaea*) dan kapas (*Gossypium* sp).
7. a. Tumbuhan hari pendek
Tumbuhan hari pendek adalah tumbuhan yang berbunga pada saat lamanya siang kurang dari 12 jam (lamanya siang lebih pendek dibanding lamanya malam).
Contoh: ubi jalar, krisan, aster, mangga, apokat.
 - b. Tumbuhan hari panjang
Tumbuhan ini berbunga pada saat lama siang lebih dari 12 jam (lamanya siang lebih panjang dari lamanya malam).
Contoh: kentang, slada, gandum, bayam.
9. Tiga sistem jaringan yang merupakan hasil dari sel-sel meristem akar yaitu:
 - a. protoderm, adalah lapisan terluar, menjadi jaringan epidermis,
 - a. meristem dasar, adalah lapisan kedua, di sebelah dalam protoderm, menjadi jaringan dasar,
 - b. prokambium, adalah lapisan dalam, menjadi stele (silinder pusat).

● Ulangan Harian Bab II

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

1. b
3. c
5. c
7. e
9. c
11. a
13. b
15. d
17. c
19. b

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. Kelompok organisme berdasarkan
 - a. Sumber C (karbon):
Autotrof (senyawa anorganik)
Heterotrof (senyawa organik)
 - b. Donor elektron
Organotrof (senyawa organik)
Litotrof (senyawa anorganik)
 - c. Sumber energi
Fototrof (cahaya atau sinar)
Khemotrof (bahan-bahan kimia)
3. Fermentasi adalah proses perombakan senyawa-senyawa kompleks menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana, dengan penerima maupun pemberi elektron atau hidrogen berupa senyawa organik. Contoh: fermentasi alkohol (produknya alkohol) dan fermentasi asam laktat (produknya asam laktat).
5. Karena siklus Krebs menghasilkan senyawa yang mempunyai 3 gugus karboksil, yaitu asam sitrat dan asam isositrat.
7. Fotoautotrof merupakan sifat organisme yang mampu menggunakan cahaya atau sinar matahari untuk membuat makanan sendiri, yaitu melalui fotosintesis. Contoh: tumbuhan lumut, paku, tumbuhan berbunga, dan tumbuhan hijau.
9. Fiksasi karbon pada tumbuhan CAM adalah dengan cara membuka stomata pada malam hari dan menutupnya pada siang hari. Pada saat stomata membuka, tumbuhan mengikat CO₂ pada berbagai asam organik.

Latihan Ulangan Tengah Semester I**A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.**

1. c
3. c
5. d
7. a
9. b
11. b
13. e
15. d

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. a. Perkecambahan adalah proses perubahan fisiologi biji dari bentuk dorman (“istirahat”) ke bentuk aktif ditandai dengan pembentukan radikula, kaulikulus dan plumula.
b. Enzim merupakan senyawa organik yang tersusun oleh protein (spesialisasi protein) untuk menjalankan proses-proses biokimiawi dalam sistem hayati.
3. Faktor genetik banyak digunakan dalam hal pemilihan bibit unggul. Gen pada tumbuhan berperan pada pengaturan reaksi-reaksi kimia dalam sel (metabolisme sel). Berkaitan dengan gen ini, pemerhati tanaman budidaya mengembangkan penelitian-penelitian yang bertujuan memperoleh biji yang baik untuk bibit, misalnya berapa lama menyimpan biji, berapa lama penjemuran (pengeringan), dan suhu berapakah yang paling cocok untuk penyimpanan.
5. Unsur Co (kobalt) berperan dalam fiksasi nitrogen dari udara dan komponen vitamin B kompleks. Mikroorganisme yang membantu fiksasi nitrogen ialah *Rhizobium* sp.
7. a. Inhibitor reversibel: inhibitor yang berikatan lemah dengan enzim, sehingga dapat lepas dan enzim dapat bekerja normal kembali.
b. Inhibitor kompetitif: zat penghambat ini mempunyai struktur yang mirip dengan substrat. Oleh karena itu, zat penghambat dan substrat bersaing untuk dapat bergabung dengan enzim membentuk kompleks enzim-substrat. Inhibitor ini bersifat reversibel. Contoh inhibitor kompetitif yaitu asam malonat, yang menghambat ikatan antara enzim dengan asam suksinat.
- c. Inhibitor nonkompetitif: pada umumnya, inhibitor ini tidak memiliki struktur yang mirip dengan substrat dan bergabung dengan enzim pada bagian selain sisi aktif enzim. Jika inhibitor ini bergabung dengan enzim, maka akan mengubah bentuk sisi aktif enzim. Contoh inhibitor nonkompetitif, antara lain: pestisida (DDT) dan paration

yang menghambat kerja enzim dalam sistem syaraf, serta antibiotik dan penisilin pada sel bakteri.

9. Tumbuhan C3 dapat melakukan fiksasi karbon dan menghasilkan senyawa (produk) pertama berkarbon 3 yaitu 3-fosfoglisarat. Contohnya adalah tanaman padi, gandum, dan kedelai.

Tumbuhan C4 pada beberapa tumbuhan, fiksasi karbon mendahului siklus Calvin dengan cara membentuk senyawa berkarbon 4 sebagai produk pertamanya. Contohnya adalah tebu, jagung, dan anggota rumput-rumputan. Kedua tumbuhan tersebut membuka stomatanya pada siang hari dan menutupnya pada malam hari.

● Ulangan Harian Bab III

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

1. e
3. b
5. d
7. c
9. b
11. b
13. a
15. c
17. d

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. Gen: unit genetik yang merupakan segmen dari DNA di dalam kromosom dan berperan dalam menentukan sifat individu.
Alel: anggota dari pasangan gen.
Genom: jumlah atau keseluruhan set atau perangkat dari pasangan kromosom homolog
Lokus gen: tempat terdapatnya gen di dalam kromosom.
Haploid: kromosom yang hanya terdiri dari satu set atau satu perangkat saja, misalnya sel kelamin.

Diploid: kromosom yang terdiri dari 2 set kromosom, misalnya sel tubuh (sel somatik).

3. Enzim helikase: membuka rantai ganda DNA induk.
Enzim ligase: membentuk rantai DNA salinan (DNA baru) dengan menggabungkan segmen-segmen okazaki.
5. Tiga hipotesis cara replikasi DNA:
- a. Model Konservatif: rantai ganda DNA induk langsung membentuk salinan berupa rantai ganda DNA baru. Replikasi pertama menghasilkan dua rantai ganda DNA, terdiri dari satu rantai ganda DNA induk dan satu rantai ganda DNA yang benar-benar baru. Pada replikasi kedua, masing-masing rantai ganda DNA tersebut langsung membentuk salinan DNA yang baru lagi. Akhirnya, menghasilkan empat buah DNA. Satu DNA tetap merupakan DNA induk yang utuh dan tiga DNA merupakan DNA baru.
 - b. Model Semi Konservatif: rantai ganda DNA induk membuka atau memisah terlebih dahulu, sehingga terbentuk dua buah rantai tunggal DNA. Masing-masing rantai tunggal berfungsi sebagai cetakan untuk membentuk rantai tunggal DNA baru, melalui pembentukan pasangan basa yang komplementer dengan basa nitrogen DNA induk. Dengan demikian, hasil replikasi pertama adalah dua buah DNA. Masing-masing DNA terdiri dari satu rantai tunggal induk dan satu rantai tunggal yang baru. Pada replikasi kedua, masing-masing rantai ganda DNA tersebut membuka kembali sehingga dihasilkan empat buah DNA. Dua buah DNA mengandung rantai tunggal induk dan dua buah DNA yang lain merupakan rantai DNA baru.
 - c. Model Dispersif: rantai ganda DNA hasil replikasi pertama maupun replikasi ke dua dari DNA induk mengandung segmen campuran antara rantai DNA induk dan rantai DNA baru. Artinya, salinan rantai ganda DNA terdiri atas

dua rantai tunggal DNA yang masing-masing mengandung segmen (bagian atau potongan) DNA induk dan segmen DNA baru.

7. Macam dan peranan RNA:
 - a. RNA m atau RNA d atau RNA kurir: membawa cetakan dari DNA menuju ke sitoplasma untuk proses translasi.
 - b. RNA r: membentuk struktur ribosom yang mengatur proses translasi, bersama-sama dengan protein.
 - c. RNA t: menerjemahkan kode-kode (kodon) yang dibawa oleh RNA m, dengan membawa antikodon (pasangan kodon RNA m). RNA t juga membawa asam amino yang sesuai dengan kodon-kodon RNA m.
9. Start kodon: AUG
Stop kodon: UGA, UAG, dan UAA

● Ulangan Harian Bab IV

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

1. a
3. d
5. c
7. e
9. c
11. c
13. e
15. d
17. c
19. b

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. a. Tempat terjadi
Mitosis
Pada tumbuhan, mitosis terjadi pada jaringan meristem (pada ujung akar, ujung batang, dan kambium).
Pada hewan terjadi di sel-sel somatik (sel tubuh).
Meiosis
Pada tumbuhan, meiosis terjadi pada benang sari dan putik.
Pada hewan terjadi di sel-sel kelamin.

b. Hasil akhir

Mitosis

Dua sel anakan yang memiliki jumlah kromosom seperti induknya (diploid).

Meiosis

Empat sel anakan yang memiliki setengah jumlah kromosom induknya (haploid).

3. Tujuan kromosom menempatkan diri pada bidang metafase untuk membagi jumlah informasi yang ada pada DNA, sehingga jumlah pada sel anaknya rata dan sama.
5. Banyak kromosom manusia yang ditemukan di dalam:
 - a. spermatosit sekunder: 23
 - b. spermatid: 23
 - c. spermatozoa: 23
 - d. spermatosit primer: 46
7. Dyad: kromatid yang sudah tidak identik lagi dengan kromatid saudaranya, karena sudah mengalami pindah silang.

● Ulangan Harian Bab V

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

1. d
3. b
5. c
7. a
9. c
11. c
13. c
15. a
17. d
19. a

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. a. *test cross* : persilangan antara individu keturunan (F1) dengan induk yang resesif homozigot.
b. *back cross*: persilangan antara keturunan F1 yang heterozigot dengan induknya (baik jantan atau betina) yang homozigot dominan.
c. homogametik: tipe seks kromosom yang mengandung kromosom kelamin sama, misal: XX dan ZZ.
d. heterogametik: tipe seks kromosom yang mengandung kromosom kelamin berbeda, misal: XY dan ZW.

e. aglutinasi: peristiwa penggumpalan akibat bertemunya aglutinogen dan antibodi.

3. a. $P \text{ ♀ } UU \times \text{♂ } Pp$
(bunga tulip ungu) (bunga tulip putih)
F1

Gamet	P	p
U	UP (ungu)	Up (ungu)
U	UP (ungu)	Up (ungu)

Perbandingan fenotip, 100% ungu

b. $P \text{ ♀ } UP \times \text{♂ } Up$
(bunga ungu) (bunga ungu)
F1

Gamet	U	p
U	UU (ungu)	Up (ungu)
P	UP (ungu)	Pp (ungu)

Perbandingan fenotip, ungu: putih = 3:1

5. $P \text{ ♀ } BB \times \text{♂ } Bb$
(botak) (normal)

F 1

Gamet	2 B	
	♀	♂
B	2 BB (botak)	2 BB (botak)
b	2 Bb (normal)	2 Bb (botak)

7. Jika orang bergolongan darah AB mentransfusikan darahnya kepada orang bergolongan darah O, maka akan terjadi penggumpalan (aglutinasi) antara darah O dan darah AB. Hal ini disebabkan antigen A dari darah AB bertemu dengan anti-A dari darah O dan antigen B dari darah AB bertemu dengan anti-B dari golongan darah AB.

9. a. # $P \text{ } I^{RH} I^{rh} \times I^{rh} I^{rh}$
F1 50% $I^{RH} I^{rh}$
50% $I^{rh} I^{rh}$
$P \text{ } I^{RH} I^{RH} \times I^{rh} I^{rh}$
F1 50% $I^{RH} I^{rh}$
50% $I^{RH} I^{RH}$
b. $P \text{ } I^{RH} I^{RH} \times I^{RH} I^{rh}$
F1 50% $I^{RH} I^{RH}$
50% $I^{RH} I^{rh}$

c. $P \text{ } I^{RH} I^{RH} \times I^{RH} I^{RH}$
F1 100% $I^{RH} I^{RH}$
d. $P \text{ } I^{rh} I^{rh} \times I^{rh} I^{rh}$
F1 100% $I^{rh} I^{rh}$

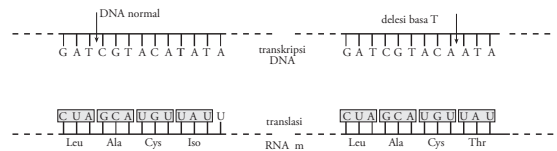
Ulangan Harian Bab VI

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

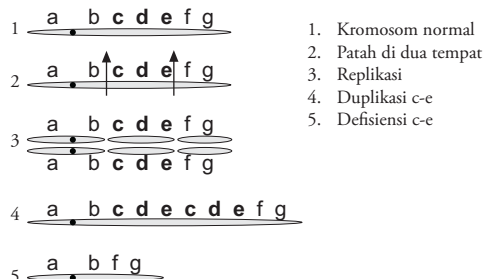
1. c
3. a
5. d
7. a
9. c
11. c
13. a
15. b
17. c
19. e

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. Contoh insersi basa tunggal



3. Delesi atau defisiensi merupakan peristiwa hilangnya sebagian kromosom normal karena patahnya kromosom. Berdasarkan letak terjadinya patahan kromosom, delesi dibedakan menjadi:
 - a. Delesi interkalar, jika terdapat dua patahan di bagian ujung kromosom.
 - b. Delesi terminal, jika terdapat satu patahan di bagian ujung kromosom. Delesi ini lebih sering dijumpai daripada delesi interkalar.
5. Skema mutasi akibat duplikasi kromosom



7. Sindrom klinefelter dapat terjadi melalui fertilisasi dari sel telur XX oleh spermatozoa Y atau dari sel telur X oleh spermatozoa XY.
9. a. Mutasi alami: disebut juga mutasi spontan (*spontaneous mutation*), terjadi dengan sendirinya tanpa diketahui penyebabnya secara pasti. Para ahli genetika meyakini adanya beberapa penyebab mutasi alami pada suatu organisme, antara lain: radiasi sinar ultraviolet, radiasi sinar kosmik dari angkasa, zat-zat radioaktif yang masuk ke dalam tubuh, dan kesalahan pada proses replikasi DNA.
- b. Mutasi buatan: disebut juga mutasi terinduksi (*induced mutation*), yaitu terjadinya mutasi karena disengaja oleh manusia. Mutagen yang digunakan pada mutasi buatan ini, antara lain: senyawa kimia yang dapat bereaksi dengan molekul DNA, radiasi sinar ultraviolet, radiasi mengion oleh sinar X, sinar α , sinar β , dan sinar γ yang dipancarkan oleh isotop radioaktif dari elemen tertentu, serta penyisipan molekul DNA (rekayasa genetika).

● Latihan Ulangan Semester I

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

1. c
3. d
5. b
7. d
9. e
11. c
13. a
15. b
17. a
19. c
21. b
23. c
25. d
27. b
29. a
31. e
33. b
35. c
37. a
39. e

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. Tahapan perkecambahan biji:
 - a) imbibisi: biji menyerap air sehingga membesar dan kulitnya pecah, air yang terserap akan mengaktifkan enzim
 - b) embrio mengeluarkan hormon gibberelin.
 - c) hormon gibberalin akan memacu aleuron untuk mensintesis beberapa enzim antara lain amilase, maltase, dan enzim pemecah protein
 - d) enzim akan bekerja menguraikan zat makanan hingga diperoleh energi untuk perkecambahan.
3. Beberapa mikroflora dan mikrofauna dalam tanah yang berperan dalam menyediakan unsur-unsur antara lain bakteri Rhizobium, Azotobakter, Nitrosomonas, Nitrosococcus, Azolla piñata, dan ganggang hijau biru.
5. Molekul perantara dalam sistem transportasi elektron antara lain flavin mononukleotida (FMN), protein-besi-sulfur(Fe-S), ubiquinon (Q atau CoQ) dan sitokrom (Cyst)
7. Hasil fotosintesis berupa molekul gula yang berlebihan akan disimpan pada plastida dalam bentuk amilum atau pati
9. Tabel perbedaan antara DNA dan RNA

Tempat terdapatnya

DNA: nukleus, mitokondria, plastida, dan sitoplasma

RNA: nukleus, sitoplasma, dan ribosom,

Basa nitrogen

DNA: purin (guanin, adenin) dan pirimidin (sitosin, timin)

RNA: purin (guanin, adenin) dan pirimidin (sitosin, urasil)

Gula penyusun

DNA: deoksiribosa

RNA: ribosa

Struktur heliks

DNA: rantai tunggal pada prokariotik dan rantai ganda pada eukariotik

RNA: rantai tunggal

11. Perbedaan mikrotubulus kinetokor dan mikrotubulus non kinetokor

Mikrotubulus kinetokor melekat pada kinetokor, sedangkan mikrotubulus non kinetokor tidak melekat pada kinetokor, dan berinteraksi dengan mikrotubulus lain dari kutub sel yang berlawanan.

13. Hasil akhir proses mikrosporogenesis: sel sperma (mikrospora dalam serbuk sari)
Hasil akhir proses megasporogenesis: sel telur (ovum) dan sel kandung lembaga sekunder.
15. a. Persilangan yang menghasilkan perbandingan fenotip 13 buah merah : 3 buah ungu
- | | | | | |
|-------|----------------|---|---|------|
| ♀ | PPss (merah) | X | ♂ | ppSS |
| Gamet | Ps | | | pS |
| F1 | PpSs | | | |
| F2 | 9 P_S_ (merah) | | | |
| | 3 P_ss (merah) | | | |
| | 3 ppS_ (ungu) | | | |
| | 1 ppss (merah) | | | |
- b. epistasis dominan resesif
17. Cara menghambat berpisahanya kromosom pada saat pembelahan
- sel induksi kolkisin, menghambat pembentukan spindle pembelahan
 - suhu tinggi, misalnya pada tanaman jagung
 - pemotongan tunas, sehingga pada potongan tunas terjadi poliploid
19. Mutan adalah individu hasil mutasi
Mutagen adalah agen penyebab terjadinya mutasi

● Ulangan Harian Bab VII

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

- c
- a
- b
- a
- e
- e
- b
- d
- d
- a

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

- Berdasarkan pengalamannya selama mengikuti pelayaran, Darwin berpandangan bahwa keanekaragaman spesies berasal dari nenek moyang yang sama yang mengalami evolusi sepanjang sejarah melalui mekanisme seleksi alam serta terjadinya variasi antar populasi.
- Pembentukan fosil dapat menggambarkan catatan kehidupan masa lampau karena dalam pembentukannya, fosil tertimbun pada lapisan tanah. Susunan lapisan tanah tersebut dapat menggambarkan umur lapisan tanah tempat ditemukannya fosil. Pada lapisan tanah yang lebih bawah, maka fosil yang ditemukan lebih rendah tingkatannya daripada fosil yang ditemukan pada lapisan tanah di atasnya.
- Mikroevolusi adalah frekuensi alel/genotip dari generasi ke generasi yang dapat mempengaruhi pool gen.
- Seleksi alam mengarahkan adaptasi karena berkaitan dengan kelangsungan hidup makhluk hidup. Supaya mampu bertahan hidup, makhluk hidup harus mampu beradaptasi terhadap perubahan-perubahan lingkungan. Apabila tidak mampu beradaptasi, maka makhluk hidup tersebut akan punah.
- Mekanisme isolasi reproduksi terjadi melalui:
 - Isolasi habitat: disebabkan karena kedua pasangan tidak saling bertemu, terhalang oleh faktor perbedaan habitat.
 - Isolasi perilaku: terjadi karena perbedaan sinyal tingkah laku dalam menarik pasangan untuk melakukan perkawinan.
 - Isolasi mekanik: pasangan saling bertemu tetapi tidak terjadi transfer gamet karena struktur anatomi alat reproduksi dari masing-masing individu berbeda.
 - Isolasi musim: terjadi karena perbedaan waktu pematangan gamet.
 - Isolasi gamet: kemungkinan gamet-gamet dapat bertemu tetapi tidak dapat melakukan pembuahan,

disebabkan karena gamet jantan tidak mempunyai viabilitas dalam alat kelamin betina yang berbeda spesiesnya.

- f) Terbentuknya bastar mandul: zigot hasil pembuahan mampu berkembang menjadi embrio hingga dewasa tetapi bersifat steril.
- g) Terbentuknya bastar mati bujang: seperti pada bastar mandul, tetapi keturunan tersebut tidak mampu bertahan hidup.

● Ulangan Harian Bab VIII

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

1. c
2. e
3. d
4. a
5. b
6. e
7. b
8. a
9. c
10. d
11. d
12. d
13. b
14. b
15. d
16. b
17. c
18. e
19. e
20. a

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. Sebelum adanya kehidupan, menurut Oparin kondisi primitif bumi kaya akan sumberdaya energi yang diperlukan untuk sintesis molekul organik dari bahan-bahan anorganik. Atmosfer bumi mengandung zat anorganik berupa uap air (H_2O), amonia (NH_3), karbondioksida (CO_2) dan metana (CH_4).
3. Ahli-ahli yang mengemukakan bahwa kehidupan berasal dari benda mati beserta usaha pembuktiannya:
 - a. Aristoteles

Aristoteles menyatakan bahwa kehidupan berasal dari benda tak hidup yang terjadi secara spontan. Teori ini dikemukakan berdasarkan pengamatan adanya larva lalat yang muncul secara tiba-tiba pada daging yang busuk.

b. John Needham

John Needham mengungkapkan bahwa kehidupan berasal dari benda mati berdasarkan percobaannya dengan mengisi beberapa labu tertutup dengan kaldu daging, kemudian dipanaskan tetapi tidak sampai mendidih. Selanjutnya labu tersebut ditutup dan disimpan pada suhu kamar. Setelah beberapa hari, ternyata semua labu menjadi keruh yang menunjukkan bahwa di dalam labu sudah berisi mikroba.

5. Langkah-langkah yang dilakukan oleh Miller dan Urey adalah:
 - a) membuat simulasi kondisi bumi primitif dengan menggunakan seperangkat peralatan laboratorium
 - b) menyediakan gas-gas yang banyak terdapat di bumi pada waktu awal mula pembentukannya yaitu H_2O (uap air), H_2 (hidrogen), CH_4 (metana), dan NH_3 (ammonia).
 - c) Gas-gas tersebut dimasukkan ke dalam peralatan yang dibuatnya, kemudian dipanaskan dengan energi listrik bertegangan tinggi sebagai pengganti halilintar.
 - d) Zat-zat yang terbentuk, kemudian dianalisis.
7. Argumen yang diajukan Harun Yahya dalam membantah Teori evolusi biokimia adalah bahwa kehidupan yang berasal dari benda mati bertentangan dengan hukum dasar biologi. Harun Yahya memberikan gambaran bahwa sel hidup merupakan hasil pembelahan dari sel hidup juga dan bukan dari pembelahan benda mati.
9. Pandangan Harun Yahya mengenai evolusi kupu-kupu *Biston betularia* di Inggris adalah terbentuknya kupu-kupu *Biston betularia* bersayap gelap yang terjadi pada awal revolusi industri di Inggris se-

benarnya tidak ada. Pada awalnya memang telah ada Biston betularia bersayap gelap dan terang. Setelah terjadinya revolusi industri, banyak pohon-pohon menjadi berwarna gelap akibat polusi. Lingkungan tersebut menyebabkan Biston betularia bersayap terang mudah dikenali oleh pemangsa sehingga jumlahnya semakin sedikit dibandingkan dengan Biston betularia bersayap gelap.

● Ulangan Harian Bab IX

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

1. e
3. d
5. b
7. a
9. b
11. b
13. d
15. c
17. a
19. b

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. Kultur jaringan merupakan suatu teknik atau metode untuk mengisolasi bagian-bagian tanaman (sel, jaringan, atau organ seperti akar, batang, daun, dan pucuk) kemudian menumbuhkan bagian tersebut secara aseptis (teknik untuk mendapatkan kondisi suci hama) di dalam atau di atas medium budidaya (in vitro). Dengan demikian, bagian-bagian tanaman tersebut dapat memperbanyak diri dan dapat menjadi tanaman lengkap kembali.
3.
 - a. Transgen: gen dari suatu individu yang ditransfer atau dipindahkan pada individu yang lain.
 - b. Transgenik: individu hasil peristiwa pemindahan gen atau individu yang menerima gen dari individu yang lain.
 - c. Klon: individu hasil kloning yang mempunyai sifat identik secara genetik dengan induknya.
5. Kloning adalah suatu metode untuk menghasilkan keturunan atau individu yang

identik secara genetik dengan induknya. Contoh: dihasilkannya domba Dolly.

7. Perbedaan bioteknologi konvensional dan modern pada bidang pangan, pertanian, dan peternakan.

A. Bioteknologi Konvensional

1. Pangan

- a. Pembuatan tempe oleh jamur *Rhizopus oryzae*.
- b. Pembuatan oncom oleh jamur *Monilia sitophila*.
- c. Tape singkong oleh jamur ragi *Saccharomyces cereviceae*.
- d. Keju dan yogurt dari susu dan menggunakan bakteri *Lactobacillus sp.*
- e. Nata de coco, brem bali, kecap, taucu, minuman anggur, bir, sake, roti, cuka, asinan, minuman beralkohol, dan yakult.
- f. asam amino (asam glutamat) sebagai penambah rasa (MSG) dan lisin yang berperan dalam pembuatan roti.
 - a. Makanan sup, keju, saus, kue, dan pizza.
 - b. Makanan dari bahan kentang (keripik kentang) yang mengandung sedikit pati dan tidak banyak menyerap minyak saat digoreng, sehingga lebih sehat dimakan.
 - c. Makanan manis seperti cokelat, es krim, makanan sereal, dan beberapa makanan bayi.
 - d. Tomat yang berair banyak dan segar.
 - e. Minyak goreng kanola.

2. Pertanian

- a. Hidroponik (cara bercocok tanam tanpa menggunakan media tanah)
- b. Pembuatan kompos padat
 - a. Menghasilkan tanaman kedelai unggul (kedelai tengger dan kedelai camar hijau) melalui radiasi dan seleksi biji-biji kedelai.
 - b. Tanaman kedelai, jagung, kapas, dan kanola yang tahan terhadap herbisida atau insektisida.

- c. Tanaman melon yang masak lebih lambat sehingga tetap segar lebih lama, dan stroberi yang lebih manis.
- d. Biji gandum yang besar dan enak.
- e. Jagung modern dengan biji yang besar dan segar berair.
- f. Apel hasil persilangan yang mempunyai sifat segar berair dan tahan penyakit.

3. Peternakan

- a. Menghasilkan domba Marino berkaki pendek.
- b. Sapi Jersey hasil seleksi, menghasilkan banyak susu. a. Anak zebra yang mempunyai garis-garis persis dengan induknya.
- b. Babi dan ikan yang tumbuh besar dan cepat.
- c. Domba Dolly hasil kloning yang mirip dengan induknya.

B. Bioteknologi Modern

1. Pangan

- a. Makanan sup, keju, saus, kue, dan pizza.
- b. Makanan dari bahan kentang (keripik kentang) yang mengandung sedikit pati dan tidak banyak menyerap minyak saat digoreng, sehingga lebih sehat dimakan.
- c. Makanan manis seperti cokelat, es krim, makanan sereal, dan beberapa makanan bayi.
- d. Tomat yang berair banyak dan segar.
- e. Minyak goreng kanola.

2. Pertanian

- a. Menghasilkan tanaman kedelai unggul (kedelai tengger dan kedelai camar hijau) melalui radiasi dan seleksi biji-biji kedelai.
- b. Tanaman kedelai, jagung, kapas, dan kanola yang tahan terhadap herbisida atau insektisida.
- c. Tanaman melon yang masak lebih lambat sehingga tetap segar lebih lama, dan stroberi yang lebih manis.
- d. Biji gandum yang besar dan enak.

- e. Jagung modern dengan biji yang besar dan segar berair.
- f. Apel hasil persilangan yang mempunyai sifat segar berair dan tahan penyakit.

3. Peternakan

- a. Anak zebra yang mempunyai garis-garis persis dengan induknya.
 - b. Babi dan ikan yang tumbuh besar dan cepat.
 - c. Domba Dolly hasil kloning yang mirip dengan induknya.
9. Gen-gen hasil rekayasa genetika yang digunakan sebagai herbisida dapat berpindah pada gulma. Seiring berjalannya waktu, gulma tersebut akan dapat menyesuaikan diri terhadap racun tanaman. Akibatnya, gulma menjadi semakin tahan terhadap racun herbisida tersebut dan menghasilkan gulma-gulma super.

● Latihan Ujian Akhir Sekolah

A Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. d | 11. c | 21.c | 31. a |
| 3. a | 13. e | 23.d | 33. e |
| 5. e | 15. d | 25. e | 35. a |
| 7. d | 17. a | 27.d | 37. d |
| 9. d | 19. b | 29. d | 39. d |

B Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.

1. Ruang lingkup biologi adalah batasan-batasan yang membingkai biologi sebagai ilmu. Objek biologi adalah makhluk hidup dan/ atau makhluk yang pernah hidup (fosil). Makhluk hidup merupakan bagian dari sistem kehidupan yang memiliki berbagai tingkatan organisasi, yaitu mulai dari satuan terkecil berupa sel sampai tingkatan tertinggi berupa biosfer. Karena ruang lingkup biologi meliputi objek dan permasalahannya dari berbagai tingkat organisasi kehidupan, maka berbagai fenomena yang menyangkut kehidupan di berbagai tingkat tersebut dipelajari di dalam biologi.
3. Sistem klasifikasi makhluk hidup adalah suatu sistem yang memuat penggolongan makhluk hidup ke dalam berbagai tingka-

Indeks

A

abiogenesis 225, 226, 227, 233, 234
adaptasi 206, 220, 221, 222
aktin 105, 120
alel 189
aleuron 4, 28, 29
Alfred 77
amino, asam 228, 233, 234
anabolisme 31, 32, 41, 55, 63, 64, 65
anabolisme 31, 32, 41, 55, 63, 64, 65
anabolisme 31, 32, 41, 55, 63, 64, 65
analog, organ 208
aneuploidi 176, 186, 188, 189
anthera 116
anti sense 87, 90, 92
anti sense 87, 90, 92
antibodi 159, 167
antikodon 81, 88, 89
antikodon 81, 88, 89
Aristoteles 225, 234
asam nukleat 77, 80, 82, 93, 94
asam nukleat 77, 80, 82, 93, 94
aseptis 242, 244, 256, 259
ATP 39, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 53, 54, 57, 58, 59, 64, 65, 66, 67
autokatalitik 229, 234
autosom 167

B

badan golgi 105
Bateson, William 136
biogenesis 225, 227, 233
biogeografi 210, 219

Biston betularia 216, 220
Blackman, F.F. 61
Briggs, Robert 246

C

Charles Darwin
Chase, Marta 77
Clung, Mc 149
Correns 124, 137
Crick, Francis 77, 78, 84
Crick, Watson 78

D

DNA 72, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96
double helix 77, 78, 83, 91, 92, 93
dyad 117, 122
determinasi seks 148, 149, 154
droplet 228, 235
diferensiasi 328, 246
Darwin, Charles 142, 164, 329, 201, 219, 220, 221, 330, 332, 230, 231, 232, 233, 235, 236
domestikasi 206, 211, 219
diploid 100, 101, 102, 109, 111, 112, 113, 115, 116, 117, 118, 120, 121, 122
dormansi 3, 27
diferensiasi 2, 4, 8, 9, 10, 11, 26, 29, 30
dominansi 14, 15

E

Ehle 138
ekstraksi 36

elektron 39, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 63, 64, 65, 66, 68
embriologi 209, 211, 219, 221
endometriosis 253
energi 31, 32, 33, 41, 42, 43, 44, 47, 49, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 66, 67, 68
enzim 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 58, 59, 62, 64, 65, 66, 67
enzimatis, reaksi 34, 38, 61, 66
epikotil 3, 5, 28, 29
euploidi 176, 179, 188, 189
evolusi 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 209, 210, 211, 212, 213, 215, 217, 219, 220, 221, 222
evolusi biokimia, Teori 227, 230, 234, 236
evolusi, bukti-bukti 221

F

fertilisasi 118, 120
filogenetik 206
fosil 206, 207, 208, 219, 221, 222
fotoperiodisme 17
fotosintesis 31, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65
frame shift 173, 189

G

gen 72, 81, 82, 83, 87, 91, 93, 96
Galton, Francis 164
galur murni 125, 134, 169

gen intermediet 169
 gen letal 124, 150, 151, 166,
 genotip heterozigot 167
 genotip homozigot 156, 167
 gen 72, 81, 82, 83, 87, 91, 329,
 93, 96, 172, 173, 174,
 179, 180, 184, 187, 188,
 189, 190, 191
 germinal 179, 180, 189
Generatio Spontanea 234
 Gurdon, John 246
 geografi, isolasi 218

H

Haldane 227, 228, 234
 haploid 101, 108, 111, 112,
 113, 115, 116, 117, 118,
 120, 121
 Hardy-Weinberg, Hukum 214,
 215, 219, 222
 Hayashi 14
 Helmont, van 56
 Henking, H 149
 herbisida 250, 254
 hibridoma 247, 248, 249, 256,
 257, 258, 259
 hilum 3
 hipokotil 3, 5, 28, 29
 histon 77, 84, 93, 94, 77, 84,
 93, 94
 holandrik 148
 homolog 109, 110, 111, 117,
 118, 120
 homolog, organ 208
 Housz, Ingen 56

I

imbibisi 4, 5
 inkubator 244
 interkinesis 112, 121

J

Jacobs 178
 Johanssen, W.L. 81

K

katabolisme 31, 32, 41, 42, 46,
 48, 52, 53, 54, 55, 64,
 65, 68

karyotipe 74, 75, 76, 83, 93, 94
 kodon 81, 87, 88, 89, 90, 91,
 92, 93, 94, 96
 kromosom 72, 73, 74, 75, 76,
 77, 81, 83, 92, 93, 94
 koloid 35, 64
 kinetokor 103, 104, 105, 107,
 110, 111, 112, 117
 kromatid 103, 104, 107, 109,
 110, 111, 112, 114, 117,
 120, 121, 122
 kromatin 100, 101, 102, 103,
 105, 107, 109, 121
 kromosom seks 143, 148, 149,
 153, 155, 166, 167
 kreasionisme 205
 kultivar 211
 keruntuhan teori evolusi 230,
 231

kreasionisme 333, 230
 kemolitoautotrof 252
 kloning 246, 247, 258, 259,
 260, 247, 251, 256, 257
 Kohler 247

L

Lamarck, J.B 200, 220
 Landsteiner, Dr. Karl 159
 Langdon, J 177
 lokus 160
 Louis, Henri 8
 Lyell, Charles 207, 220, 221

M

Mathei 90
 megaspora 117, 120, 122
 meiosis 98, 100, 101, 108, 109,
 111, 112, 113, 114, 115,
 116, 117, 118, 119, 120,
 121, 122
 Mendel, gregor Johann 125
 Mendel, Hukum 124, 126, 130,
 131, 133, 135, 136, 142,
 150, 151, 166, 168
 meristem 7, 8, 9, 10, 11, 26, 27,
 28, 29
 Meselson, Matthew 85
 metabolisme 31, 32, 33, 36, 41,
 45, 49, 50, 55, 59, 60,
 65, 66

metabolit sekunder 256
 mikroevolusi 212, 222
 mikropil 3
 mikrospora 116, 120, 122
 miosin 105, 120
 Mistein 247
 morfogenesis 2, 4, 27
 Morgan, Thomas Hunt 143
 Muller, Herman J 172
 mutagen 181, 182, 189, 190,
 191, 192
 mutan 140, 143, 172, 179, 180,
 185, 186, 189, 190, 191
 mutasi 172, 173, 174, 175, 179,
 180, 174, 171, 178, 179,
 181, 183, 184, 185, 186,
 188, 189, 190, 191, 192,
 202, 203, 212, 213, 215,
 219, 220, 221, 222

N

Nebula, Teori 224
 nukleoprotein 73
 nukleosom 77, 84, 94
 Nelson, Lars Frederik 138
 Nirenberg, Marshal 90
nondisjunction 175, 176, 177,
 188
 Needham, John 225
 nodus 14, 27

O

omne ovum ex vivo 227
omne vivum ex ovo 227
omne vivum ex vivo 227
 oogenesis 114, 115, 119, 120,
 122
 Oparin, Alexander Ivanovich
 227, 228, 234, 236
 organogenesis 2, 4, 9, 15, 26
 ovarium 98, 101, 108, 109, 113,
 114, 115, 117, 122

P

Pasteur, Louis 226, 227, 234
 pertumbuhan sekunder 11
 pindah silang 144, 145, 146,
 154, 166
 Priestly, Joseph 56

pollen 120
Punnet, R.C 136
primordial soup 233
protobion 227, 233
plasma nutfah 244
protoplas 243, 244
paleontologi 206, 221
perkecambahan 2, 3, 4, 5, 6, 7,
8, 10, 12, 14, 15, 20, 26,
27, 29, 30
pertumbuhan primer 2, 7, 11

R

reaksi enzimatis 34, 38, 61, 66
Redi, Francesco 226, 234
rekombinasi 212, 213, 219, 220,
221
replikasi 72, 77, 84, 85, 86, 87,
88, 91, 92, 95, 96
reproduksi, isolasi 217, 218,
219, 222
respirasi 32, 41, 42, 43, 45, 47,
48, 49, 50, 52, 54, 57, 58,
60, 64, 65, 66, 67, 68
RNA 228, 229, 233, 234

S

Miller, Stanley 228, 230, 233,
234
satelit 72, 73, 92, 94
seleksi alam 201, 202, 203, 204,
212, 215, 216, 219, 220,
221, 222, 333, 231, 236

Senebier 56
sentromer 174, 175, 190
sex linkage 124
sindrom 174, 175, 176, 177,
178, 186, 187, 189, 191,
192
Sintetik, Teori 202
somatis 176, 179, 188, 189,
190, 191
Spallanzani, Lazzaro 226
Spencer, Herbert 200, 220
spermatogenesis 114, 115, 119,
120

spesiasi 217, 222
steril 240, 241, 242, 243, 244,
256, 257, 258, 259
sterilisasi 243, 259

T

Tautan 124, 143, 146, 147, 148
template 90, 96
termolabil 35, 37, 64
Thomas King 246
titik tumbuh akar 8, 9, 28
transkripsi 72, 84, 85, 86, 87,
88, 90, 91, 92, 96
translasi 72, 81, 86, 88, 89, 92,
93, 94, 96
transplantasi nukleus 246, 249,
256, 259
Tschermak 124
tumbuhan hari panjang 30
tumbuhan hari pendek 17, 18,
27

U

Urey, Harold 228, 233, 234
use and disuse 201, 209, 220

V

variasi 201, 202, 205, 212, 213,
219, 221
vesikula 105, 120
vestigial, Struktur 209, 219
Vries, Hugo de 172

W

Wallace 204
Weismann 203, 204, 220, 221
Went, Frits 13
Wiener 160
Wilmut, Ian 246

Y

Yahya, Harun 224, 230, 231,
232, 233, 235, 236

Z

Zamecnik, Paul 84
ZPT 243, 257

Daftar Pustaka

- Blaustein, Daniel, Devi Mathieu, Rebecca Johnson, Susan Offner. 1995. *Biology the Dynamics of Life*. USA: MacGraw Hill School Publishing.
- Brotowidjoyo, Mukayat Djarubito. 1994. *Zoologi Dasar*. Jakarta: Erlangga.
- Brum, Gilbert, Lary McKane, Gerry Karp. 1994. *Biology; Exploring Life*, 2nd edition. USA: John Willey and Sons Inc.
- Day, Trevor. 2006. *Jejak Sejarah Sains Genetika*. Bandung: Pakar Raya.
- Gardner, John Eldon, Michael J. Simmons, D. Peter Snustad. 1991. *Principles of Genetics*, 8th ed. USA: John Willey and Sons Inc.
- Campbell & Reece-Mitchell. 2003. *Biologi Jilid I*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Campbell & Reece-Mitchell. 2003. *Biologi Jilid II*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Dwijoseputro, D. 1989. *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. Gramedia: Jakarta.
- Gardner, F.V., R.B. Pearce, & R.L. Mitchell. 1991. *Fisiologi Tanaman Budidaya*. Terj. Herawati Susilo. Jakarta: UIP.
- Godman, A. & B. Sumantri. 1989. *Kamus Sains Bergambar*. Jakarta: Gramedia.
- Green, Jen. 2005. *Makanan Rekayasa Genetika (Seri Lingkungan Hidup)*. Bandung: Pakar Raya.
- Green, Jen. 2006. *Jejak Sejarah Sains Evolusi*. Bandung: Pakar Raya.
- Harian Kompas, Tanggal 26 September 1996.
- Harper, P.A. Mayer, D.K. Granner, V.W. Rudwell, & D.W. Martin. 1987. *Biokimia*. Edisi 20. Terj. Iyan Darmawan. Jakarta: EGC Penerbit Buku Kedokteran.
- Hemera Technologies Inc. 2004. *15,000 Educational Images* (CD). Focus Multimedia Limited, The Studios.
- Hemera Technologies Inc. 2005. *50,000 Photo Art* (CD). Cambridgeshire: Global Software Publishing Ltd. Program.
- Hewitt, S. S.Parker, P.Riley, Cbiol, MI Biol, PGCE, P.Steele, & J. Walker. *Menjelajahi dan Mempelajari Bumi dan Ruang Angkasa*. 2006. Bandung: Pakar Raya.
- Indrianto, Ari. 2002. *Kultur Jaringan Tumbuhan* (Bahan Ajar). Yogyakarta: Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada.
- Jasin, M. 1995. *Ilmu Alamiyah Dasar*. Jakarta: Rajawali Press.
- Khan, Majid Ali. 1987. *Konsepsi Islam tentang Asal Usul Kehidupan*. Terj. Cuk Sukamto. Yogyakarta: PLP2M.
- Kiauw Nio, Tjan, dan Melita R. Moeis, tt, *Genetika dan Penuntun Praktikum*. Bandung: Penerbit ITB.
- Kimball, John W. 2003. *Biologi. Jilid 3*. Jakarta: Erlangga.
- Kwan, L.P. & E.Y.K. Lam. 2003. *Biology A Course for O Level*. Singapore: Federal Publication.
- Laren, J. M., L. Rotundo, P. L. Fevre, R. w. Thorington, D. Robertson, C. A. Ville, L. Slobodkin, W.r. Wilson, & F. Stare. 1985. *Heath Biology*. D. C. Toronto: Heath Company.
- Lehninger. 1994. *Dasar-dasar Biokimia*. Terj. Maggy Tresnawidjaya. Jakarta: Erlangga.
- Loveless, A. R. 1999. *Prinsip-prinsip Biologi Tumbuhan Untuk Daerah Tropis*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Mader, S. 1993. *Biology of Evolution and Diversity*. England: Wm.C.Brown Publisher.
- Madigan, M.T., J. M. Martinko, & J. Parker. 2003. *Biology of Microorganisms*. 10th edition. USA: Prentice Hall.
- Mc Laren, J. E. & Lissa R. 1985. *Heath Biology*. Lexington, Massachusetts, Toronto: D. C. Heath and Company.
- Microsoft Encarta Premium 2006 (DVD).

- Muzajjanah. *LKS Genetika*. Jakarta: Jurusan Biologi Universitas Negeri Jakarta.
- Nelson, Gideon E. 1982. *Fundamental Concept of Biology*. 4th ed. USA: John Wiley and Sons Inc.
- Pai, A.C. 1999. *Dasar-dasar Genetika (Ilmu Untuk Masyarakat)*. Terj. Muchidin Apandi. Jakarta: Erlangga.
- Permendiknas RI Nomor 22 Tahun 2006 tentang Standar Isi untuk satuan Pendidikan Dasar dan Menengah.
- Permendiknas RI Nomor 23 Tahun 2006 tentang Standar Kompetensi Lulusan untuk Satuan Pendidikan Dasar untuk Satuan Pendidikan Dasar dan Menengah.
- Pratiwi, Rarastoeti. 2003. *Biokimia* (hand out kuliah). Yogyakarta: Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada.
- Pustz, R. dan R. Pubst. 1997. *Atlas Anatomi Manusia*. Edisi 20. Bagian 1. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Salisbury, F.B. & C.W. Ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan*. Jilid 3. Terj. D.B. Lukman dan Sumaryono. Bandung: Penerbit ITB.
- Sidharta, Boy Raharjo. 1995. *Evolusi*. Yogyakarta: Universitas Atmajaya.
- Smith, L.M. & B.L. Roohk. 1985. *Introducing Biology*. 2nd Edition. USA: Kendall Hunt Publishing Company.
- Sukarno, & Moh Amien. 1997. *Biologi 3*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Suryo. 1996. *Genetika*. Jakarta: Depdikbud Dirjen Pendidikan Tinggi Proyek Pemberdayaan Tenaga Guru.
- Suryo. 1997. *Genetika Manusia*. Yogyakarta: UGM Press.
- Sutanto, R. 2002. *Penerapan Pertanian Organik*. Yogyakarta: Kanisius.
- Uddin, Jurnalis. 1997. *Penciptaan Manusia Pertama Ditinjau dari Teks Al Quran dan Bioantropologi*. Jakarta: Universitas YARSI.
- Ville, C.A., W.F. Walker, & R.D. Barnes. 1984. *Zoologi Umum*. Edisi ke-6. Jilid 1. Terj. Nawangsari Seogiri. Jakarta: Erlangga.
- Watson, J.D., John T., & D.T. Kurtz. 1988. *DNA Rekombinan* (Suatu Pelajaran Singkat). Terj. Wisnu Gunarso. Jakarta: Erlangga.
- Williams, Brian. 2005. *Ensiklopedia Bumi Kita*. Bandung: Pakar Raya.
- Wolverine is © & TM Marvel Characters Inc. All Right Reserved
- Yatim, Wildan. 1987. *Biologi Modern Pengantar Biologi*. Bandung: Tarsito.
- Yatim, Wildan. 2003. *Kamus Biologi*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- <http://cap.ucr.edu>, 04/07/2006, jam 13.00 WIB.
- <http://hcs.osu.edu>, 14/07/2006, jam 12.00 WIB.
- <http://id.wikipedia.org>, 02/08/2006, jam 15.00 WIB.
- <http://suharjawanasuria.tripod.com>, 16/11/2006, jam 16.30 WIB.
- <http://www.albinisme.dk>, 03/11/2006, jam 09.00 WIB.
- <http://www.amphilsac.org>, 08/11/2006, jam 13.00 WIB.
- <http://www.bmut.htm>, 28/05/2007, jam 14.00 WIB.
- <http://www.breedersclub.net>, 28/05/2007, jam 14.00 WIB.
- <http://www.briggsnursery.com>, 09/11/2006, jam 11.00 WIB.
- <http://www.casafreccia.it>, 15/06/2006, jam 09.00 WIB.
- <http://www.eucarpia.org>, 02/06/2006, jam 15.00 WIB.
- <http://www.harunyahya.com>, 15/09/2006, jam 13.00 WIB.
- <http://www.importers.com>, 09/08/2006, jam 11.00 WIB.
- <http://www.indonesia.com>, 06/08/2006, jam 10.00 WIB.
- <http://www.kimianet.lipi.go.id>, 16/11/2006, jam 16.30 WIB.
- <http://www.kompas.com>, 28/05/2007, jam 14.00 WIB.
- <http://www.malaysia.or.kr>, 28/05/2007, jam 14.00 WIB.
- <http://www.marcsilverstriart.com>, 02/08/2006, jam 16.00 WIB.
- <http://www.pierluigisurace.com>, 27/09/2006, jam 09.00 WIB.
- <http://www.thekeyboard.org.uk>, 02/09/2006, jam 09.30 WIB.
- <http://www.ualr.edu.botany.stemanatomy>, 14/09/2006, jam 15.00 WIB.
- <http://www.virtualmuseum.ca>, 06/11/2006, jam 19.00 WIB.

Begin. Memulai, seringkali menjadi tugas terberat. Padahal untuk tiba di puncak keberhasilan, kita harus berani memulainya, dengan mendaki lereng terjal perjuangan. Maka, mulailah, sekarang juga!

Idea. Galilah selalu gagasan yang baru dan cemerlang. Dunia akan penuh warna, dengan ide-ide kreatif kita semua. Tuangkan semuanya dengan karya, daripada mengendap, berkerak dalam kepala.

Opinion. Kemukakan segala gagasan dan ide kreatif, dengan jiwa yang bebas dan merdeka. Tak perlu takut salah berpendapat, selama kita berlandaskan argumen yang kuat.

Learn. Perteguh argumen ilmiah dengan terus belajar. Belajar selalu, sepanjang hidup kita. Di mana pun, kapan pun. Merasa diri telah pandai adalah jalan terlempang menuju kebodohan.

Observation. Lakukan pengamatan, untuk menemukan segala penjelasan. Buktikan semua dugaan dengan pengamatan dan percobaan, sehingga segala hasil dapat dipertanggungjawabkan.

Gainer. Seberat apa pun tantangan merintang, putus asa bukanlah solusi. Rebutlah gelar *The Gainer*, Sang Pemenang. Maka, bersainglah. Sungkan bersaing membuat kita tak pernah menggerakkan kemampuan maksimal.

Yeach!! Warnai hari-hari dengan sejuta prestasi!!

ISBN 978-979-068-831-5 (no jdl lengkap)
ISBN 978-979-068-845-2

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007 Tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk Digunakan dalam Proses Pembelajaran.

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp14.851,-