Ameilia Z. Siregar dkk.

Biologi Pertanian

untuk
Sekolah Menengah Kejuruan

JILID 1

Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Ameilia Z. Siregar dkk.
BIOLOGI PERTANIAN JILID 1
untuk SMK

Amelia Zuliyanti Siregar, dkk

BIOLOGI PERTANIAN
JILID 1

SMK

Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

BIOLOGI PERTANIAN
JILID 1

Untuk SMK

Penulis : Amelia Zuliyanti Siregar
Utut Widyastuti Suharsono
Hilda Akmal
Hadisunarso
Sulistijorini
Nampiah Sukarno
Anja Merdiyani
Tri Heru Widarto
Raden Roro Dyah Perwitasari

Ilustrasi Cover : Tim

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

SIR
b
SIREGAR, Amelia Zulianti
Biologi Pertanian Jilid 1 untuk SMK /oleh Amelia Zuliyanti Siregar, Utt Widyastuti Suharsono, Hilda Akmal, Hadisunarso, Sulistijorini, Nampiah Sukarno, Anja Merdiyani, Tri Heru W., Raden Roro Dyah Perwitasari ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
vi. 137 hlm
Daftar Pustaka : A1-A4
Glosarium : B1-B9
ISBN : 978-602-8320-16-0

Diterbitkan oleh
Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun 2008

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, telah melaksanakan kegiatan penulisan buku kejuruan sebagai bentuk dari kegiatan pembelian hak cipta buku teks pelajaran kejuruan bagi siswa SMK. Karena buku-buku pelajaran kejuruan sangat sulit di dapatkan di pasaran.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK dan telah dinyatakan memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkan *soft copy* ini diharapkan akan lebih memudahkan bagi masyarakat khsusnya para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri untuk mengakses dan memanfaatkannya sebagai sumber belajar.

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

Jakarta, 17 Agustus 2008
Direktur Pembinaan SMK

PENGANTAR

Perkembangan ilmu biologi pada masa ini berkembang sangat cepat seiring perkembangan teknologi. Untuk mengupas tuntas permasalahan biologi, diperlukan kecerdasan, keuletan, kesabaran, dan berpikir kritis sehingga diperoleh konsep-konsep dasar ilmu biologi.

Penyusunan buku ini berdasarkan atas Permendiknas Nomor 22 Tahun 2006 tentang Standar Isi dan Permendiknas Nomor 23 Tahun 2006 tentang Standar Kompetensi Lulusan. Oleh karena itu pihak Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah mengupayakan penerbitan buku ini bekerjasama dengan dunia akademik

Buku Biologi Pertanian mengajak Anda mengenal dan memahami biologi secara lengkap dan mendalam. Buku ini disajikan materi meliputi: penelitian dalam biologi, struktur dan fungsi sel, sistem metabolisme sel, hereditas pada organisme, prokariot dan virus, fungi, plantae, animalia, ekosistem dan konservasi, pencemaran lingkungan, serta bioteknologi dan peranannya bagi kehidupan. Materi yang disajikan bersifat *up to date*, *apersepsi* disertai rangkuman dan latihan agar pengguna memperoleh pemahaman.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada editor Dr. Nampiah Sukarno dan Dr. Utut Widyastuti dari Departemen Biologi, FMIPA IPB atas keikhlasan, kesabaran dan bantuannya dalam mengedit buku ini. Selain itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Nuryani Rustaman atas saran dan masukannya sehingga buku ini menjadi lebih baik. Penulis juga mengucapkan penghargaan yang tinggi kepada Akhmad Amirullah dan Isnan Prasetyo Widodo atas dedikasinya di dalam membantu penyelesaian buku ini. Akhir kata, penulis berharap buku ini akan memberi manfaat bagi pelajar di Sekolah Menengah Kejuruan bidang Pertanian mengenal Biologi dan aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari. **Experience is a good teacher for us!**

Penulis

SINOPSIS

Buku **Biologi Pertanian** mengajak Kalian mengenal dan memahami biologi secara lengkap dan mendalam. Materi yang disajikan bersifat *up to date*, *apersepsi* dan *psikomotorik* disertai tujuan pembelajaran, kata-kata kunci, gambar, rangkuman dan latihan untuk mengupas tuntas permasalahan biologi, dengan kecerdasan, keuletan, kesabaran, dan berpikir kritis sehingga diperoleh suatu konsep-konsep dasar ilmu biologi.

Materi buku ini mencakup model penelitian biologi, struktur dan fungsi sel, sistem metabolisme sel, hereditas pada organisme, monera, protista, fungi, plantae, animalia, ekosistem dan konservasi, pencemaran lingkungan, serta bioteknologi dan peranannya bagi kehidupan.

Buku ini disusun untuk menumbuhkembangkan kewirausahaan, etos kerja, memupuk sikap ilmiah (jujur, objektif, terbuka, ulet, berpikir kritis, dapat bekerja sama dengan orang lain) pada diri sendiri. Disamping pengembangan pengalaman untuk dapat mengajukan dan menguji hipotesis melalui percobaan dan dikomunikasikan secara lisan dan tulisan oleh siswa.

Kemampuan berpikir analitis, induktif dan deduktif dengan konsep dan prinsip biologi untuk membentuk beberapa kecakapan seperti: personal, akademik, vokasional, dan sosial dalam bentuk unjuk kerja meningkatkan pemahaman biologi melalui eksprimen. Apresiasi terhadap keanekaragaman hayati menggugah kesadaran untuk mengenal potensi, cara pemeliharaan dan meningkatkan kesadaran dan peran dalam menjaga kelestarian lingkungan, didukung penerapan pengetahuan dan keterampilan aplikasi bioteknologi sederhana secara tepat guna.

DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN
KATA PENGANTAR **(i)**
SINOPSIS **(ii)**
DAFTAR ISI **(iii)**
PETA KOMPETENSI **(vi)**

I. PENELITIAN DALAM BIOLOGI (PERTANIAN) **(1)**
1.1 Biologi Sebagai Ilmu Pengetahuan (2)
1.2. Metode Ilmiah (4)
1.3. Cabang-Cabang dan Manfaat Ilmu Biologi (9)
1.4. Tahap-Tahap Klasifikasi (11)
1.5. Tujuan Klasifikasi (13)
1.6. Manfaat Klasifikasi (13)
1.7. Tahapan Klasifikasi (14)
1.8. Kunci Determinasi (14)
1.9 Macam-macam klasifikasi (16)

II. STRUKTUR DAN FUNGSI SEL **(25)**
2.1. Struktur Sel Prokariotik dan Eukariotik (26)
2.2. Struktur dan Fungsi Organel Sel (29)
2.3. Perbedaan Sel Hewan dan Tumbuhan (33)
2.4. Ciri-Ciri Mahluk Hidup (34)

III. METABOLISME SEL **(41)**
3.1. Katabolisme: Respirasi (47)
3.2. Anabolisme: Fotosintesis (51)
3.3. Klasifikasi Enzim dan Peranannya (60)

IV. HEREDITAS PADA MAKHLUK HIDUP **(71)**
4.1. Struktur Kimia Materi Genetik (72)
4.2. Pembelahan Mitosis dan Meiosis (86)
4.3. Hereditas Menurut Hukum Mendel dan Penyimpangannya (94)
4.4. Mutasi (120)
4.5. Peranan Manusia Dalam Revolusi Hijau dan Revolusi Biru (125)
4.6. Penemuan Bibit Unggul (127)

V. VIRUS DAN PROKARIOT **(139)**
5.1. Ciri, Sifat, dan Keragaman Virus (140)
5.2. Ciri, Sifat, dan Keragaman Prokariotik (155)

VI. PROTISTA **(181)**
6.1. Ciri, Sifat, dan Keragaman (182)
6.2. Peranan Protista Dalam Kehidupan (194)

VII. FUNGI **(201)**
7.1. Sifat, Ciri, dan Keragaman (202)

7.2. Klasifikasi dan Peranan Cendawan (204)

VIII. PLANTAE (219)
8.1. Jaringan Tumbuhan (221)
8.2. Organ Tumbuhan (228)
8.3. Sistem Jaringan Penyusun Tubuh Tumbuhan (232)
8.4. Transportasi Pada Tumbuhan (237)
8.5. Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan (249)
8.6. Gerak Pada Tumbuhan (259)
8.7. Reproduksi Pada Tumbuhan (265)
8.8. Klasifikasi Tumbuhan (275)
8.9. Pertanian Organik (281)

IX. ANIMALIA (297)
9.1. Jaringan Pada Hewan (298)
9.2. Sistem Organ Pada Hewan (310)
9.3. Klasifikasi Hewan (Invertebrata dan Vertebrata) (312)
9.4. Mengidentifikasi Proses Reproduksi Pada Hewan (347)
9.5. Pertumbuhan dan Perkembangan Hewan (348)
9.6. Mekanisme Gerak Pada Hewan (352)

X. EKOSISTEM DAN KONSERVASI (377)
10.1. Makhluk Hidup dan Lingkungan (378)
10.2. Komponen Penyusun Ekosistem (387)
10.3. Tipe-tipe Eksosistem (391)
10.4. Suksesi dan Klimaks (401)
10.5. Perubahan Lingkungan (403)

XI. PENCEMARAN LINGKUNGAN (413)
11.1. Ciri, Sifat, Macam Polusi dan Limbah (414)
11.2. Dampak Polusi Terhadap Kesehatan Manusia (428)
11.3. Pengelolaan Limbah Organik (431)

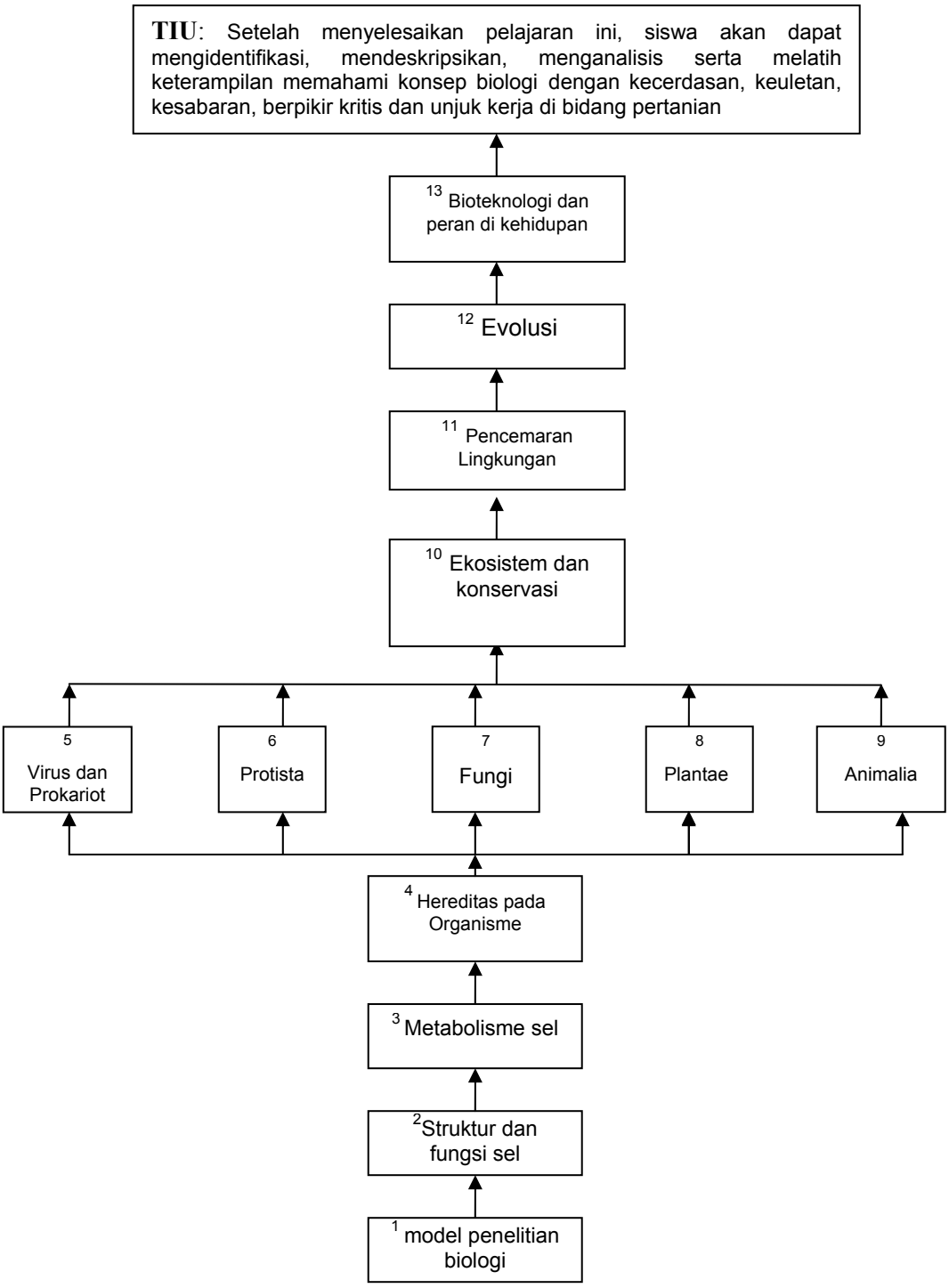
XII. EVOLUSI (443)
12.1. Pencetus Teori Evolusi (445)
12.2. Hukum Hardy-Weinberg (447)
12.3. Selain Seleksi Alam, Hanyutan Gen dan Aliran Gen dapat Berkontribusi Terhadap Evolusi (450)
12.4. Terbentuknya Spesies Baru (451)
12.5. Fosil (456)
12.6 Teori asal usul kehidupan (459)

XIII. BIOTEKNOLOGI DAN PERANANNYA BAGI KEHIDUPAN (467)
13.1. Ciri dan Sifat Mikroorganisme (468)
13.2. Ilmu-Ilmu Yang Digunakan Dalam Bioteknologi (469)
13.3. Dampak Pengembangan Bioteknologi (472)
13.4 Kultur sel dan jaringan (487)
13.5 Rekayasa Genetik (491)
13.6 Penanggulangan Dampak Negatif Bioteknologi (496)

LAMPIRAN A DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN B GLOSARI

PETA KOMPETENSI



BAB I

PENELITIAN DALAM BIOLOGI (PERTANIAN)

Gambar 1.1. Pengelompokan buah-buahan.

Buah-buahan, sayuran dan ikan yang tertata rapi di pasar atau supermarket umumnya disusun berdasarkan jenisnya (Gambar 1.1). Kalian dapat melihat buah jeruk berbeda dari apel, pir, atau semangka, bahkan antara sekelompok anggur yang satu dengan kelompok anggur lainnya. Demikian juga halnya dengan makhluk hidup di alam ini. Dalam suatu golongan, individu yang satu dengan individu yang lain memiliki kemiripan, tetapi dengan golongan individu yang lain akan memiliki banyak perbedaan. Perbedaan morfologi, anatomi, biokimia, tingkah laku dan peranannya menjadi dasar dalam klasifikasi makhluk hidup.

Standar Kompetensi

Memahami hakekat biologi sebagai ilmu.

Kompetensi Dasar

Mengidentifikasi ruang lingkup biologi.

Mendeskripsikan objek dan permasalahan biologi di berbagai tingkat organisasi kehidupan (molekul, sel, jaringan, organ, individu, populasi, ekosistem, dan bioma).

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari *Penelitian dalam Biologi* (Pertanian), kalian diharapkan dapat:

- Mengidentifikasi karakteristik biologi sebagai pengetahuan dan produk ilmiah.
- Mengidentifikasi langkah-langkah dalam metode ilmiah untuk menemukan konsep biologi.
- Mengidentifikasi sikap ilmiah seorang biologiwan dalam menemukan konsep biologi.
- Mendeskripsikan dasar-dasar klasifikasi makhluk hidup.
- Mendeskripsikan tujuan dan manfaat klasifikasi makhluk hidup.
- Melakukan klasifikasi makhluk hidup dengan menggunakan kunci determinasi sederhana.

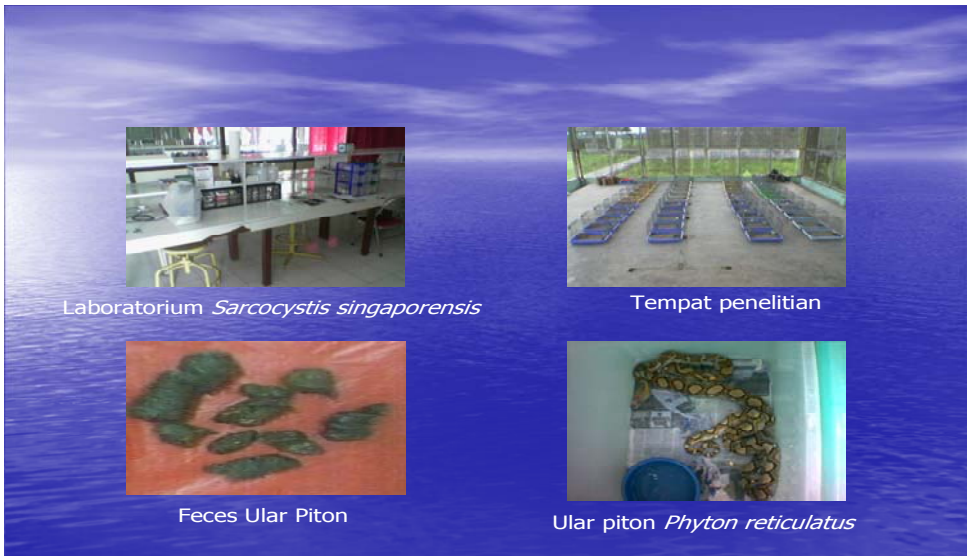
Kata-Kata Kunci

Applied science	Resisten
Determinasi	Semak
Dikotomi	Spesies
Herba	Taksonomi
Hipotesis	Takson
Kingdom	Terna
Klasifikasi	Variabel bebas
Pencandraan	Variabel bergayut
Pure science	Variabel

Pernahkah kalian melakukan suatu penelitian ilmiah? Apa saja yang harus kalian lakukan selama proses penelitian berlangsung? Penelitian hanya dapat dilakukan oleh seseorang yang memiliki sikap ilmiah. Rasa ingin tahu yang tinggi merupakan sikap ilmiah yang mendorong seseorang untuk melakukan penelitian. Sikap ilmiah akan menuntun seseorang untuk melalui tahapan-tahapan terencana dan sesuai prosedur dalam melakukan percobaan (penelitian). Penelitian itu sendiri digunakan untuk memperoleh konsep-konsep suatu ilmu. Biologi, fisika, dan kimia merupakan contoh ilmu pengetahuan alam. Dalam bab ini kalian akan mempelajari penelitian dalam biologi yang akan mempelajari hakikat biologi sebagai ilmu.

1.1. Biologi sebagai ilmu pengetahuan

Tahukah kalian apakah biologi itu? Biologi berasal dari kata *bios,* artinya hidup dan *logos*, artinya ilmu. Biologi adalah ilmu yang mempelajari segala sesuatu tentang makhluk hidup. Biologi mengalami perkembangan yang sangat pesat dan dapat membantu manusia memecahkan permasalahan yang dihadapi dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu penelitian model biologi dilakukan dengan menggunakan *Sarcocystis singaporensis* yang berasal dari feses ular Phyton untuk mengontrol populasi tikus sawah seperti pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Penelitian biologi menggunakan *Sarcocystis singaporensis* yang berasal dari feses ular piton, untuk mengontrol populasi tikus sawah.

Kajian biologi mencakup berbagai tingkat organisasi kehidupan, meliputi sel, jaringan, organ, individu, populasi, ekosistem, bahkan sampai dengan bioma. Tingkat molekul dipelajari dalam **biologi molekuler**. Dengan demikian, kita dapat mengetahui tingkat-tingkat metabolisme berbagai jenis makhluk hidup. **Biologi sel** merupakan ilmu yang membahas organel-organel yang terkandung dalam sel berkaitan dengan fungsi dan peranannya bagi kehidupan, berkat adanya ketekunan para ilmuwan yang mengkajinya.

Jaringan tubuh makhluk hidup memperoleh perhatian khusus para ahli bidang **histologi**. Dengan mempelajari histologi, dokter dapat memperbaiki wajah yang rusak karena terbakar melalui operasi. Tingkat organisasi kehidupan berupa organ dapat dipelajari dengan ilmu **anatomi** dan **fisiologi.** Adapun **ekologi** merupakan ilmu yang mempelajari makhluk hidup dalam tingkatan individu (spesies dan koloni), populasi (kumpulan individu dalam suatu tempat dan waktu yang sama), ekosistem (hubungan timbal balik antara faktor biotik dan abiotik lingkungan), serta bioma (gabungan berbagai ekosistem).

Biologi merupakan kelompok ilmu murni (*pure science*). Kedudukannya sama dengan fisika, kimia, dan matematika. Biologi sebagai ilmu murni berperan dalam pengembangan ilmu terapan *(applied science).* Misalnya kedokteran, pertanian, dan farmasi. Jadi kalian tidak mungkin dapat menguasai ilmu terapan tersebut tanpa

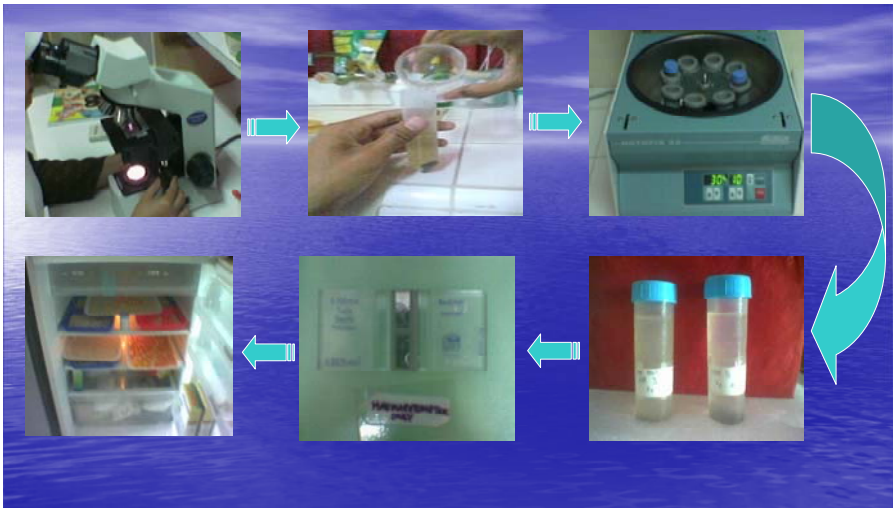
menguasai biologi. Kalian telah mengetahui bahwa biologi berkedudukan sebagai ilmu pengetahuan. Untuk menemukan suatu konsep atau teori maka harus dilakukan suatu penyelidikan ilmiah. Disebut penyelidikan ilmiah jika dilakukan dengan metode ilmiah.

1.2. Metode ilmiah

Metode ilmiah dalam biologi dibedakan menjadi eksperimen dan metode observasi. Untuk menemukan konsep atau teori biologi dari metode eksperimen, kalian harus mengikuti langkah-langkah sebagai berikut.

1.2.1. Perencanaan penyelidikan ilmiah

Diawali dengan rasa ingin tahu yang tinggi, seseorang akan terdorong melakukan perencanaan, pengamatan, dan pengumpulan data yang relevan untuk menjawab rasa keingintahuan tersebut (Gambar 1.3). Sebelum menetapkan bentuk penyelidikan yang akan dilaksanakan, peneliti harus merumuskan tujuan penelitian.



Gambar 1.3. Prosedur dalam metode ilmiah: menentukan *Sarcosystis* sp. a. Pengamatan sporosit , b. penyaringan sporosit, c.sporosit disentrifugase, d.sporosit *Sarcocystis*, e. pemberian label, f. penyimpanan sporosit dalam lemari es.

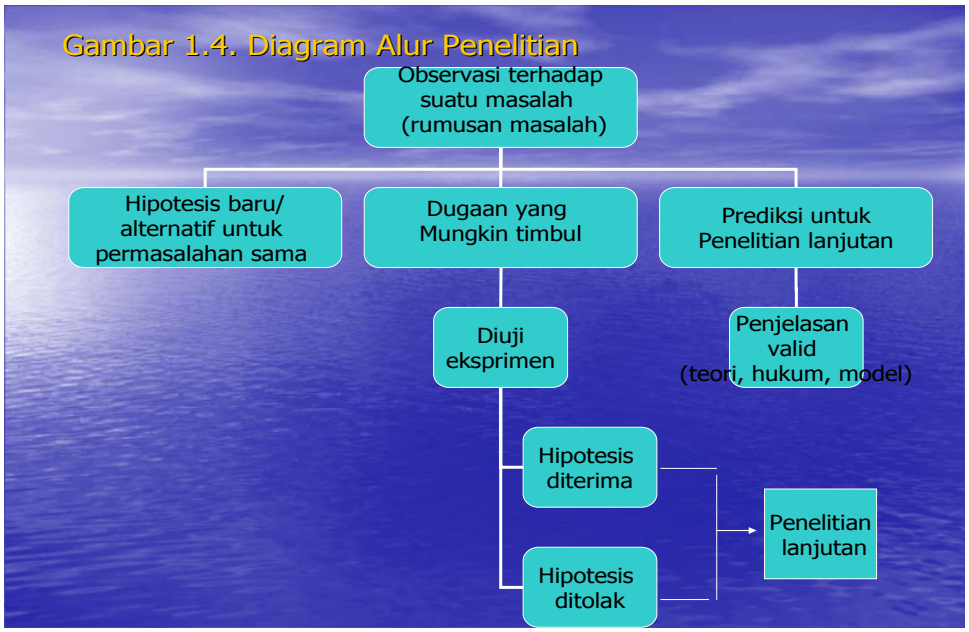
Setelah menentukan tujuan penelitian, langkah-langkah berikut disusun sedemikian rupa sehingga memudahkan peneliti untuk menghimpun data awal penelitian. Setelah data awal terkumpul, dibuat dugaan atau jawaban sementara yang disebut **hipotesis**. Jawaban sementara makin meningkatkan rasa ingin tahu sehingga peneliti melakukan percobaan untuk membuktikan dugaannya. Percobaan dibuat dengan memperhatikan pembanding atau kontrol dan variabel yang berkaitan terhadap masalah tersebut. **Pembanding** (kontrol)

merupakan suatu perangkat percobaan, adapun **variabel** merupakan suatu faktor yang mempengaruhi suatu percobaan. Variabel dapat berupa variabel yang dikendalikan variabel terikat maupun variabel perlakuan (variabel bebas).

Variabel yang dikendalikan disebut juga variabel bergayut (*variabel respons*) berkait dengan perubahan yang akan diteliti, variabel bergayut merupakan variabel yang berfungsi sebagai tanggapan terhadap respon yang diberikan. Adapun **variabel bebas** adalah perlakuan yang ingin dilihat pengaruhnya.

Setelah mengetahui macam variabel, kalian dapat menentukan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk mendukung bahan percobaan sesuai dengan tujuan penelitian. Apabila alat dan bahan telah tersedia, kalian harus segera menentukan instrumen penelitian.

Berdasarkan tujuan penelitian pula, kalian menetapkan instrumen yang sesuai untuk mendapatkan data yang konkret. Instrumen-instrumen itu akan diperoleh dengan memprediksikan cara menganalisis hubungan antara variabel dan tujuan penelitian tersebut.



Gambar 1.4. Diagram alur penelitian.

Ingat, pada perencanaan penyelidikan ilmiah, kalian telah menentukan suatu hipotesis. Nantinya apabila kalian melaksanakan penyelidikan ilmiah tersebut secara eksperimen, maka kalian dapat mengambil suatu kesimpulan. Kesimpulan yang kalian ambil dapat

ditarik dari hipotesis yang telah kalian tetapkan di awal penelitian. Dengan melihat hasil analisis data, kalian dapat menyimpulkan bahwa hipotesis kalian tersebut diterima atau ditolak. Hipotesis kalian diterima apabila hasil analisis penelitian tersebut mendukung hipotesis kalian. Hipotesis kalian ditolak (hipotesis nol) apabila hasil analisis penelitian tersebut bertolak belakang dengan hipotesis kalian. Diagram alur pada suatu penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.4.

1.2.2. Pelaksanaan penyelidikan ilmiah dalam bidang biologi

Sebelum merencanakan suatu penelitian, terlebih dahulu diidentifikasi masalah-masalah nyata yang ingin diteliti. Masalah-masalah itu dapat berupa peristiwa yang sedang hangat dibicarakan seperti penyakit DBD, SARS dan flu burung, atau masalah yang sederhana seperti munculnya nyamuk yang kebal (resisten) terhadap obat anti nyamuk.

Kalian dapat mengambil contoh masalah nyamuk modern tersebut untuk diselidiki melalui penelitian ilmiah. Dalam permasalahan nyamuk modern, kalian perlu membatasi penyelidikan pada satu jenis nyamuk tertentu.

Berdasarkan hal itu, kalian akan mengetahui sifat dan ciri khas nyamuk yang dimaksud, termasuk cara perkembangbiakannya. Apabila telah mendapatkan informasi yang lengkap mengenai hal-hal yang berhubungan dengan nyamuk, kalian dapat merumuskan suatu masalah baru mengenai nyamuk.

Setelah itu kalian dapat menentukan suatu hipotesis, misalnya yang berkaitan dengan macam obat anti nyamuk atau berkaitan dengan dosis dan kandungan zat yang ada di dalamnya.

Dari batasan tersebut, kalian dapat mengidentifikasi metode penelitian yang tepat untuk memecahkan masalah tersebut. Metode penelitian yang kalian pilih membutuhkan alat dan bahan tertentu yang menunjang tercapainya tujuan penelitian.

Setelah mempersiapkan bahan dan alat yang diperlukan, kalian dapat melakukan pengumpulan data dengan cara yang tepat. Teknik pengumpulan data antara lain dengan cara pengamatan, percobaan, atau gabungan dari keduanya. Untuk memperoleh hasil yang maksimal, perlu dilakukan suatu percobaan awal dan pengulangan perlakuan (replikasi). Dari hasil pengulangan tersebut akan kalian dapatkan data mentah.

Data mentah yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisis sesuai dengan keperluan jenis penelitian. Pengolahan dan analisis data

dilakukan dengan perhitungan statistika. Perhitungan statistika menunjukkan apakah perlakuan memberi pengaruh atau memperlihatkan perbedaan yang cukup berarti. Dari perhitungan statistika tersebut kalian sudah dapat menarik suatu kesimpulan. Di samping itu pengaruh faktor lingkungan, biologi dan tingkah laku masyarakat perlu juga diikutsertakan.

1.2.3. Mengkomunikasikan Hasil Penyelidikan Ilmiah

Hasil penelitian harus dapat secara rasional diterima oleh masyarakat luas, dari kalangan awam sampai kalangan ilmuwan. Hasil penelitian diinformasikan dengan bahasa yang mudah dipahami dan disampaikan dengan jelas dalam bentuk laporan ilmiah.

Prosedur penelitian tersebut juga harus diinformasikan dengan jelas agar orang lain dapat melaksanakan penelitian seperti yang kalian kerjakan. Begitu pula dengan cara mengolah dan menganalisis data harus diinformasikan secara lengkap.

Hasil pengolahan data dapat disajikan dalam bentuk tabel, grafik, diagram alur (*flow chart*), dan peta konsep. Laporan hasil penelitian dapat disajikan menggunakan metode yang sesuai. Dengan media tersebut, peneliti harus dapat menjelaskan data secara lisan dengan baik. Di dalam laporan hasil penelitian, model, hubungan, dan simbol harus sesuai dengan standar internasional dan gunakan secara benar.

Hasil penemuan kalian harus disampaikan menggunakan bahasa dan istilah biologi yang standar atau dibakukan dalam kode internasional sehingga mudah dimengerti oleh peneliti di seluruh dunia. Selanjutnya, peneliti juga harus dapat menyajikan pola hubungan dari peta konsep yang ditemukan kemudian dianalisis lebih lanjut. Setelah itu, peneliti harus mendeskripsikan kecendrungan hubungan, pola, dan keterkaitan variabel yang telah dibuat. Berdasarkan hal-hal tersebut peneliti merumuskan rekomendasi hasil penelitiannya kepada masyarakat.

Hal ini dimaksudkan agar masyarakat mampu melanjutkan penelitian tersebut dengan menggali permasalahan dan mengadakan penelitian mendalam. Umumnya para peneliti mengkomunikasikan penelitiannya dalam suatu jurnal.

Selain metode eksperimen, kalian dapat memperoleh konsep biologi dengan melakukan penelitian metode observasi yang dibedakan menjadi dua, yaitu metode observasi dengan variabel bebas dan metode observasi tanpa variabel bebas.

1.2.3.1.Metode observasi dengan variabel bebas

Metode observasi dengan variabel bebas membutuhkan adanya suatu pengaruh “perlakuan”. Dengan adanya pengaruh “perlakuan”, kalian dapat mengamati akibat yang ditimbulkan oleh pengaruh “perlakuan” tersebut terhadap objek yang kalian teliti.

Perbedaan metode observasi ini dengan metode eksperimen adalah pada tipe pengaruh perlakuan yang dikenakan pada objek. Pada metode eksperimen, perlakuan yang dilakukan dapat kalian kendalikan.

Misalnya, kalian dapat mengatur konsentrasi pupuk Phospat terhadap beberapa kelompok tanaman yang kalian teliti. Adapun dalam metode observasi, pengaruh “perlakuan” tersebut tidak dapat kalian kendalikan. Misalnya, kalian tidak dapat mengatur jumlah curah hujan di suatu areal persawahan pada musim hujan. Meskipun terdapat perbedaan dengan metode eksperimen. Metode observasi dengan variabel bebas juga memiliki persamaan dengannya. Misalnya, pada metode observasi ini diperlukan perlakuan dengan suatu pengulangan sehingga akan diperoleh objek-objek apa saja yang dipengaruhi oleh perlakuan dan apa saja yang tidak.

1.2.3.2. Metode observasi tanpa variabel bebas

Metode ini berbeda dengan metode sebelumnya sebab dilakukan tanpa melibatkan variabel bebas. Oleh karena itu, pengamatan yang dilakukan dapat menggunakan lebih satu objek. Misalnya, kalian dapat melakukan observasi terhadap cara hewan memelihara anaknya.

Secara umum, kalian akan mendapati cara bebek memelihara anaknya. Akan tetapi, lain halnya bebek dengan jenis hewan yang lain, misalnya belut. Apabila induk yang memelihara bebek adalah induk betina maka induk jantan belutlah yang mengerami dan memelihara telur-telur hasil perkawinan dengan induk betina.

Seorang peneliti harus peka terhadap lingkungan sekitarnya. Hal itu menunjukkan kepedulian terhadap masyarakat di sekelilingnya. Hasil penelitian disampaikan secara tertulis pada jurnal, majalah, buletin, ataupun langsung (lisan) kepada masyarakat sekelilingnya. Argumentasi dan pertanyaan diajukan dengan berani dan santun. Contohnya ketika kalian mengadakan pelatihan di lapangan. Semua pendapat yang dikemukakan haruslah ilmiah dan kritis. Berdasarkan hasil penelitian, seorang peneliti harus mengusulkan perbaikan atas suatu usaha atau kondisi yang tidak sesuai dengan hasil penelitiannya. Dia juga harus dapat mempertanggungjawabkan usulan tersebut.

Selama proses penelitian, seorang peneliti harus dapat bekerja sama dengan pihak atau orang lain agar memperoleh data yang benar dan akurat. Kerja sama yang baik akan memudahkan pengumpulan data. Satu sikap yang juga harus dimiliki oleh seorang peneliti adalah jujur terhadap fakta. Kondisi yang sebenarnya di lingkungan dan merupakan hasil penelitian jangan sampai dimanipulasi sehingga menjadi suatu kesimpulan hasil penelitian yang sesuai dengan harapannya. Sebab hal itu akan merugikan peneliti itu sendiri dan masyarakat pada umumnya. Artinya, dia telah membohongi diri sendiri dengan hasil penelitiannya tersebut. Apabila hasil penelitian tidak menunjukkan hasil maka seorang peneliti harus sabar, jujur, objektif, terbuka, ulet, berpikir kritis dan bertanggung jawab dengan mengulang penelitiannya kembali. Proses penelitian harus dilakukan dengan tekun sampai mendapatkan hasil penelitian.

1.3. Cabang-cabang dan manfaat ilmu biologi

1.3.1. Cabang-cabang biologi

Biologi mengalami perkembangan yang sangat pesat. Biologi berkembang menjadi cabang – cabang ilmu yang khusus mempelajari sesuatu yang khas. Adapun biologi dikelompokkan menjadi beberapa cabang biologi sebagai berikut :

1.3.1.1. Berdasarkan objek studi

a. botani : ilmu yang mempelajari seluk – beluk tumbuhan.
b. zoologi : ilmu yang mempelajari seluk – beluk hewan.
c. mikrobiologi : ilmu yang mempelajari kehidupan mikroorganisme (makhluk renik).

Cabang-cabang ilmu lainnya adalah sebagai berikut:

d. mikologi : ilmu yang mempelajari seluk – beluk jamur (fungi).
e. entomologi : ilmu yang mempelajari kehidupan serangga.
f. virologi : ilmu yang mempelajari kehidupan virus dan pengaruhnya terhadap makhluk hidup lain.
g. bakteriologi : ilmu yang mempelajari kehidupan bakteri dan pengaruhnya terhadap makhluk hidup lain.
h. zimologi : ilmu yang mempelajari kehidupan khamir.

1.3.1.2. Berdasarkan tingkat organisasi

a. sitologi : ilmu yang mempelajari susunan dan fungsi bagian–bagian dari sel, baik hewan maupun sel tumbuhan.
b. histologi : ilmu yang mempelajari susunan dan fungsi jaringan tubuh makhluk hidup.
c. organologi : ilmu yang mempelajari organ – organ makhluk hidup.

Cabang-cabang ilmu lainnya adalah sebagai berikut:

d. anatomi : ilmu yang mempelajari struktur tubuh mahluk hidup.
e. morfologi : ilmu yang mempelajari struktur luar dan fungsi organ suatu mahluk hidup.
f. fisiologi : ilmu yang mempelajari proses normal dan fungsi metabolisme (faal) serta kegiatan hidup makhluk hidup
g. embriologi : ilmu yang mempelajari perkembangan makhluk hidup dari telur sampai menjadi embrio (calon individu baru).

1.3.1.3. Berdasarkan persoalan/tema pokok

a. evolusi : ilmu yang mempelajari perkembangan mahluk hidup dari bentuk–bentuk yang sederhana menjadi bentuk yang paling rumit (sempurna).
b. ekologi : ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara mahluk hidup dan lingkungannya.
c. genetika : ilmu yang mempelajari cara-cara pewarisan sifat individu kepada keturunannya.
d. patologi : ilmu yang mempelajari penyakit dan pengaruhnya terhadap makhluk hidup.
e. higiene : ilmu yang mempelajari cara-cara pemeliharaan kesehatan suatu makhluk hidup, terutama manusia.
f. taksonomi : ilmu yang mempelajari penggolongan makhluk hidup.
g. paleontologi : ilmu yang mempelajari fosil dan bentuk-bentuk kehidupan di masa lampau.

Selain digolongkan berdasarkan hal-hal di atas, biologi dapat juga dibedakan sebagaimana terlihat pada tabel 1.1.

Tabel 1.1. Penggolongan biologi berdasarkan objek: tumbuhan dan hewan

Berdasarkan objek studi	Berdasarkan tingkat organisasi dan persoalan
a. Botani b. Zoologi c. Mikrobiologi d. Mikologi e. Entomologi f. Virologi g. Bakteriologi h. Zimologi	a. Sitologi b. Histologi c. Organologi d. Anatomi e. Morfologi f. Fisiologi g. Embriologi h. Evolusi i. Ekologi i. Genetika

	j. Patologi k. Higiene l. Taksonomi n. Paleontologi

1.3.2. Manfaat biologi dalam berbagai bidang

Biologi juga dapat dimanfaatkan dalam bidang keilmuan lainnya, misalnya kedokteran, pertanian, dan farmasi.

1.3.2.1. Bidang kedokteran

Dahulu orang menganggap penyakit merupakan suatu kutukan dari tuhan atau karena udara buruk. Contohnya, penyakit malaria berasal dari kata *mala* yang artinya *buruk* dan *aria* yang berarti *udara*. Pengobatan penyakit dahulu umumnya tidak membuahkan hasil yang memuaskan. Sekarang, orang modern akan mencari tahu penyebab penyakit tersebut dan mengusahakan pengobatan atau pencegahannya. Kemajuan bidang kedokteran tidak lepas dari dukungan lmu biologi dan ilmu-ilmu lainnya.

Dengan kemajuan ilmu dan teknologi kedokteran yang sangat pesat, sekarang sudah dapat disembuhkan berbagai macam penyakit, misalnya penyakit jantung, kanker, dan tumor. Kemajuan ilmu biologi diharapkan dapat menurunkan tingkat kematian dan meningkatkan gizi makanan.

1.3.2.2. Bidang pertanian

Kemajuan ilmu biologi berperan dalam peningkatan sumber daya pangan, kemajuan teknologi alat pertanian, penggunaan pupuk secara tepat dan pemilihan bibit unggul. Bahkan rekayasa genetika, teknik kloning, pemeliharaan dan pembudidayaan tanaman secara modern (kultur jaringan dan genetika) semakin terkendali.

1.3.2.3. Bidang peternakan

Dengan kemajuan ilmu biologi, inseminasi buatan (kawin suntik), *fertilisasi in vitro*, dan kloning dengan menghasilkan embrio di luar uterus (rahim) induk betina dalam jumlah tertentu semakin berkembang.

1.4. Tahap-tahap klasifikasi

Apabila kalian cermati, kalian akan melihat makhluk hidup di alam ini beraneka ragam. Makhluk hidup yang beraneka ragam jenis ini memiliki persamaan dan perbedaan ciri khas. Berdasarkan hal itu, makhluk hidup dapat digolongkan kepada golongan tertentu. Proses pengaturan atau penggolongan makhluk hidup dalam kategori golongan yang bertingkat disebut **klasifikasi.** Hasil dari proses

tersebut berupa sistem klasifikasi. Klasifikasi mempermudah kita dalam mempelajari dan menyederhanakan obyek studi.

Artinya, mengamati dan mempelajari satu jenis makhluk sudah mewakili semua makhluk yang berada dalam satu tingkat pengelompokan. Cabang biologi yang khusus mempelajari klasifikasi disebut taksonomi. Pengelompokam makhluk hidup berdasarkan aturan tertentu dikatakan sebagai klasifikasi. Adapun dasar-dasar yang dapat digunakan dalam klasifikasi makhluk hidup seperti berikut ini.

1.4.1. Berdasarkan persamaan dan perbedaan ciri morfologi

Coba kalian amati ayam dan bebek yang berada di lingkungan sekitar kalian, keduanya dikelompokkan dalam unggas karena adanya persamaan ciri morfologi. Tetapi keduanya juga memiliki perbedaan, sehingga ayam dan bebek merupakan golongan berbeda seperti terlihat pada tabel 1.2.

Tabel 1.2. Persamaan dan perbedaan ciri morfologi

Ciri-Ciri	Ayam	Bebek
Persamaan: 1. Tulang Belakang 2. Jumlah kaki 3. Jantung 4. Bulu Perbedaan: 1. Paruh 2. Kaki		

1.4.2. Berdasarkan peranannya dalam kehidupan manusia

Pengelompokan makhluk hidup dapat dilakukan berdasarkan peranannya dalam kehidupan manusia, yaitu menguntungkan atau merugikan, atau dapat juga berdasarkan fungsinya sebagai tanaman sayuran, obat-obatan, pangan, beracun. Sebagai contoh kelompok tanaman peneduh: akasia, mahoni, asem, talok, dan beringin; kelompok tanaman hias: mawar, melati, anggrek, dan suplir.

Klasifikasi atas dasar peranannya dapat dilakukan oleh siapa saja asalkan pengelompokan tersebut jelas. Contohnya, padi, jagung, singkong, dan sagu dikelompokkan dalam tumbuhan sumber bahan pangan. Contoh lain, yang tergolong hewan ternak antara lain sapi, kambing dan ayam.

1.4.3. Berdasarkan ciri anatomi suatu makhluk hidup

Klasifikasi berdasarkan ciri anatomi lebih ditekankan pada ciri-ciri yang terdapat dalam organ tubuh makhluk hidup atau pada struktur penyusun tubuhnya. Sebagai contoh, klasifikasi berdasarkan anatomi batang tumbuhan:

a. Tumbuhan memiliki kambium pada batang sehingga batang dapat bertambah besar, misalnya jambu, mangga, rambutan, jati, dan jeruk.
b. Tumbuhan yang tidak memiliki kambium batang sehingga batang tidak dapat bertambah besar, misalnya jagung, padi, dan rumput.

Hewan juga dapat diklasifikasikan berdasarkan ciri anatomi. Misalnya, klasifikasi pada hewan berdasarkan ada tidaknya tulang belakang terbagi menjadi Avertebrata (tidak bertulang belakang) dan Vertebrata (bertulang belakang).

1.4.4. Berdasarkan ciri biokimia

Perkembangan ilmu pengetahuan mendorong perkembangan klasifikasi makhluk hidup. Artinya, tidak hanya ciri-ciri yang mudah diamati saja digunakan untuk klasifikasi, namun dapat juga berdasarkan sifat biokimia dalam tubuh makhluk hidup tersebut. Sifat biokimia ini dimulai dari molekul, DNA, dan membran sel yang dapat digunakan sebagai dasar pengelompokan.

1.5. Tujuan klasifikasi

Dasar pengelompokan makhluk hidup antara sistem klasifikasi yang satu dengan yang lain mungkin saja berbeda. Namun, pada umumnya klasifikasi makhluk hidup tersebut mempunyai tujuan dan manfaat yang hampir sama. Tujuan klasifikasi adalah:

a. Mendeskripsikan ciri-ciri makhluk hidup agar mudah dikenali.
b. Mengelompokkan makhluk hidup berdasarkan persamaan ciri.
c. Melihat hubungan kekerabatan antar anggota kelompok makhluk hidup dalam klasifikasi tersebut. Makin banyak persamaan satu golongan dengan golongan lain artinya kedua golongan tersebut memiliki hubungan kekerabatan makin dekat.
d. Mengurutkan proses evolusi/ perkembangan suatu makhluk hidup berdasarkan hubungan kekerabatan dengan golongan lain.

1.6. Manfaat klasifikasi

Selain memiliki tujuan, klasifikasi juga bermanfaat untuk kepentingan manusia. Adapun manfaat klasifikasi antara lain sebagai berikut.

a. Menyederhanakan objek studi.
   Apabila kita akan mempelajari sesuatu tidak perlu semua makhluk hidup yang ada di muka bumi diteliti satu persatu, tetapi cukup dengan sampel atau perwakilan dari objek tersebut yang dianggap

sudah mewakili semua. Misalnya untuk mempelajari serangga atau lebah dengan karekteristik yang mewakili serangga tersebut.

b. Diketahui hubungan kekerabatan.
Dengan melihat hubungan pengelompokan\klasifikasi tersebut dapat diketahui hubungan kekerabatannya. Misalnya, ayam lebih dekat hubungan kekerabatannya dengan bebek daripada dengan ular.

1.7 Tahapan klasifikasi

Tahapan klasifikasi meliputi pencandraan/ identifikasi, pengelompokan, dan pemberian nama kelompok.

a. Pencandraan (identifikasi)

Pencandraan atau identifikasi merupakan pengamatan ciri-ciri atau sifat-sifat makhluk hidup. Hal-hal yang diamati meliputi morfologi, anatomi, fisiologi, kromosom, dan tingkah laku. Contoh pencandraan dengan memperlihatkan data-data berupa: tubuh ditumbuhi rambut, berkaki empat, memiliki dua mata, dan memiliki kelenjar mammae di dada. Data tersebut menunjukkan ciri khas makhluk hidup yang tergolong mamalia.

b. Pengelompokan

Setelah pencandraan, langkah berikut ialah mengelompokkan makhluk hidup yang memiliki banyak kesamaan berdasarkan pencandraan dalam kelompok yang sama. Misalnya, kambing, kelinci, kuda, dan sapi termasuk dalam satu kelompok karena sama-sama merupakan hewan pemakan tumbuhan. Setelah itu, masuk pada tahap yang ketiga, yaitu pemberian nama kelompok.

c. Pemberian nama

Berdasarkan contoh pengelompokan di atas, nama kelompok hewan-hewan tersebut adalah mammalia herbivor. Para ahli taksonomi telah melakukan penelitian terhadap berbagai jenis hewan dan tumbuhan di dunia ini. Mereka telah melakukan tahap-tahap klasifikasi dan akhirnya mampu memberikan nama terhadap makhluk hidup tersebut. Untuk mempermudah mencari nama makhluk hidup yang belum kalian kenal, kalian dapat menggunakan kunci determinasi.

1.8. Kunci determinasi

Kunci determinasi digunakan untuk mencari nama tumbuhan atau hewan yang belum diketahui. Kunci determinasi yang baik adalah kunci yang dapat digunakan dengan mudah, cepat serta hasil yang diperoleh tepat. Pada umumnya kunci disusun secara menggarpu (dikotom), memuat ciri-ciri yang bertentangan satu sama lain. Artinya, apabila suatu makhluk hidup memiliki ciri-ciri yang satu, berarti ciri yang lain

pasti gugur. Dikenal dua macam kunci determinasi, yaitu kunci determinasi bertakik (Idented Key) dan kunci determinasi paralel (Bracketed Key).

a. Contoh kunci determinasi bertakik:

1. Daun berseling
   2.Buah berbiji tunggal
      3. Bunga biseksual.....*Allmania*
      3. Bunga uniseksual.....*Amaranthus*
   2.Buah berbiji banyak.....*Celosia*
1. Daun berhadapan
   4. Kepala putik satu.....*Althernanthera*
   4. Kepala putik bercabang dua.....*Gomphrena*

b. Contoh kunci determinasi paralel:

1.a. Daun berhadapan.....2
1.b. Daun berseling.....3
2.a. Kepala putik satu.....*Althernanthera*
2.b. Kepala putik bercabang dua.....*Gomphrena*
3.a. Buah berbiji banyak.....*Celosia*
3.b. Buah berbiji tunggal.....4
4.a. Bunga biseksual.....*Allmania*
4.b. Bunga uniseksual.....*Amaranthus*

Tugas: buat kunci determinasi (bentuk takik maupun paralel) dari spesimen yang disediakan.
Perhatikan petunjuk pembuatannya sebagai berikut:

a. Pilihlah ciri-ciri khas yang dapat merupakan ciri kontras dari spesimen yang akan dibandingkan, yang mudah dilihat secara makroskopis dan bersifat tetap.
b. Siapkan Tabel Pembanding (lihat contoh)
c. Pada setiap pasang pernyataan, pakailah istilah yang paralel dan bersifat komparatif. Hindarkan pemakaian kalimat yang bersifat negatif.
d. Hindarkan pengukuran yang tumpang tindih (*overlapping*).

Contoh Tabel Pembanding

No.	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	Spesimen 4
1. Habitus	liana	semak	herba	semak
2. Susunan daun	berhadapan	berseling	roset	berhadapan
3.Jumlah daun kelopak	7-10	5	5	3
4.Jumlah benangsari	7	4	10	5

5.Tipe buah	kotak	buni	kotak	kotak

Berdasarkan Tabel Pembanding dapat dibuat kunci bertakik dan kunci paralel sebagai berikut.

a. Kunci bertakik

1. Herba
   2. Daun roset, benangsari 10.....spesimen 3
   2. Daun berhadapan, benangsari 5.....spesimen 4
1. Liana atau semak
   3. Daun berhadapan, benangsari 7.....spesimen 1
   3. Daun berseling, benangsari 5.....spesimen 2

b. Kunci paralel

1.a. Herba.....2
1.b. Herba atau liana.....3
2.a. Daun roset, benangsari 10.....spesimen 3
2.b. Daun berhadapan, benangsari 5.....spesimen 4
3.a. Daun berhadapan, benangsari 7.....spesimen 1
3.b. Daun berseling, benangsari 5.....spesimen 2

1.9. Macam-macam klasifikasi

Klasifikasi bermanfaat untuk mengetahui hubungan kekerabatan antara makhluk hidup yang beraneka ragam. Hewan atau tumbuhan yang masih dekat hubungan kekerabatannya mempunyai banyak persamaan ciri morfologi. Ada beberapa macam sistem klasifikasi, di antaranya sistem klasifikasi alami, sistem klasifikasi buatan dan sistem klasifikasi filogenik.

1.9.1 Sistem klasifikasi alami

Merupakan suatu cara pengelompokan makhluk hidup berdasarkan banyaknya persamaaan ciri morfologi yang dimiliki. Pengamatan dilakukan menggunakan mata telanjang dengan mengamati bentuk luar tubuh suatu makhluk hidup, antara lain warna, ukuran tubuh, tinggi/pendek, bentuk daun, bentuk paruh, bentuk kaki dan bentuk batang.

Penganut sistem ini adalah Aristoteles (384-322 SM). Aristoteles seorang ahli filsafat Yunani yang mengelompokkan tumbuhan berdasarkan jumlah kotiledon, ada tidaknya mahkota bunga, dan letak bakal buah. Selain beliau, **Theophrastus (370-285 SM)** yang disebut **Bapak Botani** dengan karyanya berjudul *"History of Plants"* yang berisi pembagian dunia tumbuhan menjadi empat kelompok, antara lain:

Pohon: tumbuhan yang memiliki batang berkayu, misalnya pohon mangga dan pohon jeruk.

Semak/Perdu: tumbuhan berkayu, memiliki banyak ranting dan bercabang pendek, misalnya tanaman pagar atau teh-tehan.

Setengah Semak/Setengah Perdu:
tumbuhan berbatang rendah dengan percabangan banyak dan mudah patah, misalnya tanaman cabai dan tanaman melati.

Herba/Terna: tanaman yang memiliki batang berair atau berbatang lunak, misalnya tanaman bayam, kangkung atau sawi.

Kelebihan sistem ini ialah identifikasi yang mudah. Pengelompokan makhluk hidup yang kurang dikenal masih mungkin dilakukan dalam sistem klasifikasi ini. Sistem ini juga relatif lebih stabil karena tidak akan berubah oleh perubahan perkembangan pengetahuan.

1.9.1.1. Sistem klasifikasi buatan

Sistem klasifikasi buatan (artifisial) adalah pengelompokan makhluk hidup yang didasarkan atas adanya beberapa persamaan ciri morfologi, alat reproduksi, lingkungan tempat tumbuh, dan daerah penyebarannya tanpa memperhatikan kesamaan struktur yang mungkin memperlihatkan hubungan kekerabatan. Misalnya kupu-kupu dan kelelawar merupakan satu kelompok karena keduanya dapat terbang. Penganut sistem klasifikasi ini adalah **John Ray (1627-1705),** seorang naturalis Inggris yang menuangkan pendapatnya dalam ***"****Historia Plantarum",* berisi 1800 jenis tumbuhan yang menggunakan ciri bunga, batang dan akarnya. Klasifikasi ini kurang teratur dan tidak disertai dengan tata nama. Kelebihan sistem ini adalah semua orang dapat melakukan pengelompokan makhluk hidup dengan menentukan sendiri aturan yang digunakan. Dengan demikian, dasar yang digunakan untuk pengelompokan antar orang yang berbeda akan berbeda pula.

1.9.1.2. Sistem klasifikasi filogenik

Pengelompokan berdasarkan jauh dekatnya hubungan kekerabatan antar takson (kelompok). **Charles Robert Darwin (1859)** dalam bukunya " *On the Origin of Species by Means of Natural Selection"* mengkaitkan antara klasifikasi dan evolusi. Dasar pemikiran Darwin adalah setiap makhluk hidup mengalami perubahan sehingga sifat/cirinya berbeda dengan sifat/ciri nenek moyangnya. Kelebihan sistem klasifikasi ini adalah dapat diketahui adanya hubungan filogenik antar makhluk hidup yang berada dalam satu kelompok. Selain itu, banyak informasi yang dapat diperoleh, misalnya anggota kelompok dapat ditambah dengan mudah dan kebanyakan makhluk hidup dalam kelompok memiliki ciri dasar yang diturunkan.

Carolus Linnaeus (1707-1778), sarjana kedokteran dari Swedia yang sangat besar perhatiannya terhadap bidang botani, menganut sistem klasifikasi buatan. Linnaeus menyatakan bahwa makhluk hidup yang memiliki persamaan paling banyak digolongkan dalam tingkatan yang sama, mengenal adanya tingkatan pengelompokan makhluk hidup yang disebut **takson.** Anggota-anggota dalam tingkatan takson yang semakin tinggi mempunyai persamaan semakin sedikit. Sebaliknya, makin rendah tingkatan takson, maka semakin banyak persamaannya. Umumnya kelompok (takson) dari tinggi ke rendah adalah sebagai berikut:
Kingdom (Dunia)
Phylum (Filum) atau Division (Divisi)
Classis (Kelas)
Ordo (Bangsa)
Familia (Suku)
Genus (Marga)
Species (Spesies/Jenis)

Berikut ini adalah Tabel 1.3 tentang contoh klasifikasi pada tumbuhan dan hewan.

Tabel 1.3.Klasifikasi tumbuhan dan hewan

Tumbuhan	**Takson**	**Hewan**
Plantae	Kingdom	Animalia
Spermatophyta	Phylum/Division	Chordata
Angiospermae	Sub Phylum/Sub Division	Vertebrata
Dicotyledoneae	Classis	Mammalia
Rutales	Ordo	Theria
Rutaceae	Familia	Marsupialia
Citrus	Genus	Marcapus
C.macrocarpa (J. keprok)	Species	*M. kangaroo (Kangguru)*

Linnaeus juga memelopori cara pemberian nama makhluk hidup menggunakan sistem penamaan yang dikenal dengan sistem binomial nomenklatur (sistem tata nama ganda). Ketentuan penamaan tersebut adalah sebagai berikut:

a. Nama ilmiah makhluk hidup ditulis dalam bahasa Latin atau bahasa asing yang dilatinkan. Contohnya, nama ilmiah melinjo adalah *Gnetum gnemon* yang berasal dari bahasa Melayu *gnemu.*
b. Setiap nama jenis terdiri atas dua suku kata. Kata pertama menunjukkan nama genus, sedangkan kata kedua menunjukkan keterangan jenis/spesies (misalnya *mammosum*= seperti

mammae). Contohnya nama ilmiah harimau adalah *Felis tigris* dan nama ilmiah padi adalah *Oryza sativa*.

c. Huruf pertama pada kata pertama ditulis dengan huruf kapital, misalnya *Felis* dan *Oryza.* Adapun huruf pertama pada kata kedua ditulis dengan huruf kecil, misalnya *tigris* dan *sativa*.

d. Nama jenis makhluk hidup dicetak miring, misalnya *Oryza sativa* atau dapat juga digarisbawahi, misalnya Felis tigris.

e. Nama varietas ditulis sebagai kata ketiga, misalnya *Oryza sativa glutinosa*, yaitu nama lain padi varietas ketan.

Beberapa alternatif sistem klasifikasi menggunakan sistem dua dunia, sistem tiga dunia, sistem empat dunia, dan sistem lima dunia.

Sistem dua dunia dikategorikan dalam *dunia hewan (animalia),* makhluk hidup yang tidak dapat membuat makanan sendiri, memerlukan makhluk hidup lain sebagai sumber makanannya, dan dapat melakukan gerak berpindah tempat; dan *dunia tumbuhan (plantae),* makhluk hidup yang dapat membuat makanan sendiri dengan bantuan sinar matahari, mengubah senyawa anorganik menjadi senyawa organik, kelompok ini tidak dapat berpindah tempat meskipun dapat melakukan gerak yang terbatas.

Sistem tiga dunia disusun berdasarkan cara makhluk hidup memperoleh makanan yang dikemukakan oleh **Ernst Haeckel (1866, Bangsa Jerman).** Sistem ini terdiri atas *kingdom protista (mikroorganisme), kingdom plantae* dan *kingdom animalia.*

Sistem klasifikasi berdasarkan data sekuen dari RNA ribosom (rRNA) membagi makhluk hidup hidup ke dalam tiga domain yaitu *Bakteria, Archaea* dan *Eukarya*. Anggota domain Bakteria dan Archaea ialah makhluk hidup prokariot, sedangkan domain Eukarya ialah makhluk hidup eukariot. Domain Eukarya terdiri dari 5 dunia, yaitu *protista, chromista, fungi, plantae, dan animalia*.

Sistem lima dunia dikemukakan oleh **Robert H. Whittaker (1969),** meliputi *kingdom monera* (prokariotik, inti sel tidak bermembran = ganggang hijau biru dan bakteri), *kingdom protista, kingdom fungi* (cendawan), *kingdom plantae* dan *kingdom animalia.* Klasifikasi disusun berdasarkan struktur organisasi internal sel, struktur organisasi sel, dan tipe nutrisi sel. Sistem ini yang paling sering digunakan untuk mengklasifikasikan makhluk hidup hidup.

Rangkuman

Biologi merupakan ilmu murni. Biologi adalah ilmu yang mempelajari segala sesuatu yang menyangkut makhluk hidup. Pelaksanaan suatu penelitian tidak pernah lepas dari langkah-langkah yang mendukung hasil penelitian. Langkah-langkah penelitian disebut metode ilmiah, terdiri atas: identifikasi masalah, observasi atau pengumpulan data informasi, menyusun hipotesis (jawaban sementara), perencanaan percobaan berdasarkan hasil observasi, pengumpulan data dan analisis. Selanjutnya tahap terakhir adalah kesimpulan.

Sikap ilmiah dalam kinerja ilmiah bermanfaat untuk menentukan konsep-konsep biologi. Sikap ilmiah yang harus dimiliki oleh seorang biologiwan antara lain jujur, memiliki rasa ingin tahu, sesuai dengan fakta, berani dan santun, dan dalam melakukan penelitian harus tekun agar hasil yang diperoleh maksimal.

Objek tingkat organisasi dan persoalan/tema yang dipelajari dalam biologi mulai dari tingkat kecil berupa susunan molekul dan sel sampai tingkat tertinggi yaitu bioma.

Klasifikasi adalah suatu cara mengelompokkan segala sesuatu (objek, organisme, dan lain-lain) berdasarkan aturan tertentu. Tahap klasifikasi, yaitu pencandraan (identifikasi), pengelompokan, dan pemberian nama. Tujuan klasifikasi adalah menyederhanakan objek (penelitian). Sistem klasifikasi berdasarkan pendekatannya dibedakan menjadi sistem alami, sistem buatan dan sistem filogenik.

Klasifikasi menurut Carolus Linnaeus menggunakan sistem peralihan alami > buatan. Dalam klasifikasi ini, Linnaeus menyertakan tatacara dalam pengelompokan dengan aturan pemberian tata nama ganda yang dikenal sebagai Binomial Nomenklatur. Setiap satu spesies memiliki satu nama untuk tiap tingkatan takson. Urutan takson dari tingkat rendah sampai yang tinggi adalah spesies (jenis), genus (marga), familia(suku), ordo(bangsa), kelas, divisi/filum, kingdom(dunia) dan domain.

Beberapa alternatif sistem klasifikasi menggunakan sistem dua dunia, sistem tiga dunia, sistem empat dunia, dan sistem lima dunia. Sistem dua dunia dikategorikan dalam *hewan (animalia)* dan *tumbuhan (plantae).* Sistem tiga dunia terdiri atas *protista (mikroorganisme), plantae* dan *animalia.S*istem empat dunia terbagi atas *monera*, *fungi* (cendawan), *plantae* dan *animalia, dan* sistem lima dunia terbagi atas *monera, protista, fungi, plantae dan animalia.*

Soal Latihan

A. Berilah tanda silang (x) pada huruf a, b, c, d, atau e untuk jawaban yang tepat!

1. Untuk memecahkan masalah hama kutu loncat yang menyerang tanaman lamtoro gung, langkah pertama yang harus dilakukan adalah ....
   a. melakukan eksprimen
   b. mengemukakan teori
   c.mengadakan observasi untuk mengumpulkan informasi
   d. menyusun hipotesis
   e. merumuskan masalah

2. Di antara gejala-gejala berikut yang termasuk gejala biologi adalah ....
   a. timbulnya wabah penyakit
   b. peledakan jumlah penduduk
   c. bencana kelaparan
   d. serangan hama wereng
   e. kerusakan lingkungan

3. *Imperata cylindrica* (alang-alang) merupakan jenis gulma yang banyak merugikan petani. Namun, hasil penelitian menunjukkan umbi akar alang-alang dapat digunakan sebagai bahan baku obat-obatan. Orang yang melakukan penelitian tersebut merupakan ahli dalam bidang ....
   a. gulmasida
   b. zoologi
   c. farmakologi
   d. botani
   e. taksonomi

4. Dalam pengamatan bunga kembang sepatu (*Hibiscus rosa-sinensis*) dilakukan pengukuran diameter dan panjang mahkota yang dibuat pada lokasi berbeda, di setiap lokasi diambil sampel lima tanaman yang sama. Dari pengamatan tersebut yang dikatakan sebagai variabel bebas adalah ....
   a. diameter mahkota bunga
   b. panjang mahkota
   c. lokasi yang berbeda
   d. setiap lokasi lima tanaman
   e. bunga kembang sepatu (*Hibiscus rosa-sinensis*)

5. Tingkatan organisasi kehidupan yang paling rendah dan merupakan ciri suatu makhluk hidup ditunjukkan oleh ....
   a. sel – organ - jaringan
   b. molekul - sel – jaringan
   c. sel – jaringan – organ

d. individu – populasi – komunitas
e. sel – organ – sistem jaringan

6. Hal-hal berikut dapat digunakan sebagai dasar klasifikasi buatan antara lain ....
   a. persamaan/perbedaan ciri yang ada
   b. tempat hidupnya
   c. morfologi
   d. cara perkembangbiakannya
   e. tingkah lakunya

7. Berikut ini yang *bukan* termasuk manfaat mempelajari klasifikasi ....
   a. untuk menyederhanakan objek
   b. menunjukkan hubungan kekerabatan makhluk hidup
   c. menunjukkan gambaran evolusinya
   d. menunjukkan ciri-ciri makhluk hidup
   e. memanfaatkan makhluk hidup yang berguna bagi manusia

8. Sistem klasifikasi yang telah mulai menggolongkan Archaebacteria dan Eubacteria menjadi kingdom yang berbeda merupakan sistem klasifikasi ....
   a. dua dunia
   b. tiga dunia
   c. enam dunia
   d. tujuh dunia
   e. delapan dunia

9. Sistem pengelompokan yang paling mudah dan semua orang dapat melakukannya adalah ....
   a. sistem filogenik
   b. sistem alami
   c. sistem dua dunia
   d. sistem tiga dunia
   e. sistem artifisial

10. Berikut ini macam makhluk hidup ....
    (1) *Manihot utilissima*
    (2) *Hibiscus rosa-sinensis*
    (3) *Solanum tuberosum*
    (4) *Manihot tuberosum*
    (5) *Oryza sativa*
    Di antara makhluk hidup tersebut, yang paling dekat hubungan kekerabatannya antara ....
    a. (1) dan (2)
    b. (1) dan (4)

c. (3) dan (4)
d. (3) dan (5)
e. (2) dan (4)

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!

1. Jelaskan persiapan yang harus dilakukan seorang peneliti!
2. Jelaskan suatu hipotesis dikatakan sebagai hipotesis nol!
3. Mengapa biologi disebut sebagi *pure science*?
4. Jelaskan tahapan dalam metode ilmiah!
5. Jelaskan bagaimana C. Laveran menemukan penyakit malaria!
6. Sebutkan tujuan dilakukan klasifikasi!
7. Sebutkan dasar-dasar yang digunakan dalam klasifikasi makhluk hidup!
8. Jelaskan langkah-langkah yang ditempuh dalam teknik klasifikasi makhluk hidup!
9. Atas dasar apa pengelompokan makhluk hidup dibedakan menjadi dua dunia?
10. Sebutkan nama lima orang ilmuwan yang berjasa dalam klasifikasi makhluk hidup!

BAB II

STRUKTUR DAN FUNGSI SEL

Sel merupakan kesatuan dasar sruktural dan fungsional makhluk hidup. Sebagai kesatuan struktural berarti makhluk hidup terdiri atas sel-sel. Makhluk hidup yang terdiri atas satu sel disebut makhluk hidup bersel tunggal (uniseluler = monoseluler) dan makhluk hidup yang terdiri dari banyak sel disebut makhluk hidup multiseluler.

Sel sebagai unit fungsional berarti seluruh fungsi kehidupan/aktivitas kehidupan (proses metabolisme, reproduksi, iritabilitas, digestivus, ekskresi dan lainnya) pada makhluk hidup bersel tunggal dan bersel banyak berlangsung di dalam tubuh yang dilakukan oleh sel.

Standar Kompetensi

Mengidentifikasi sel dan jaringan makhluk hidup

Kompetensi Dasar

2.1. Mengidentifikasi sel prokariotik dan sel eukariotik
2.2. Mengidentifikasi struktur dan fungsi organel sel
2.3. Mengidentifikasi perbedaan sel hewan dan sel tumbuhan

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari *Struktur dan Fungsi Sel*, kalian diharapkan dapat memahami dan mengidentifikasi perbedaan struktur dan fungsi sel tumbuhan dan hewan dalam kehidupan.

Kata-Kata Kunci

Adaptasi	Noktah
Ekskresi	Nutrisi
Eukariotik	Plasmodesmata
Iritabilitas	Prokariotik
Krista	Regulasi
Kloroplas	Reproduksi
Kromoplas	Sekresi
Leukoplas	Sintesis

2.1. Struktur sel prokariotik dan eukariotik

Istilah sel pertama kali dikemukakan oleh **Robert Hooke,** Ilmuwan Inggris, pada tahun 1665 yang berarti ruangan kosong. Ia meneliti sayatan gabus di bawah mikroskop yang terdiri atas ruangan-ruangan yang dibatasi oleh dinding. Hal tersebut benar karena sel-sel gabus merupakan sel-sel yang telah mati sehingga di dalam sel tersebut kosong, tidak berisi.

Pada tahun 1839, seorang biolog Perancis, **Felix Durjadin** meneliti beberapa jenis sel hidup dan menemukan isi dalam rongga sel yang penyusunnya disebut **sarcode**. **Johanes Purkinje** (1789-1869) mengadakan perubahan nama Sarcode menjadi **protoplasma**. **Max Schultze** (1825-1874), seorang anatomi mengemukakan **protoplasma** merupakan **dasar fisik kehidupan**.

Theodore Schwann (1801-1881), seorang pakar zoologi Jerman, meneliti secara cermat dan intensif sel-sel hewan; dan **Mathias Schleiden** (1804-1881), pakar botani Jerman meneliti sel-sel tumbuhan. Berdasarkan hasil pengamatannya, kedua peneliti tersebut mengemukakan bahwa baik **tubuh hewan** maupun **tubuh tumbuhan terdiri atas sel-sel.**

Robert Brown (1831), seorang biolog Skotlandia, menemukan benda kecil yang melayang-layang dalam protoplasma. Benda tersebut diberi nama **Inti (Nukleus).** Sedangkan **Rudolf Virchow** mengatakan *sel berasal dari sel* **"Omnis Cellula Cellula".** Dengan demikian sel merupakan kesatuan hereditas.

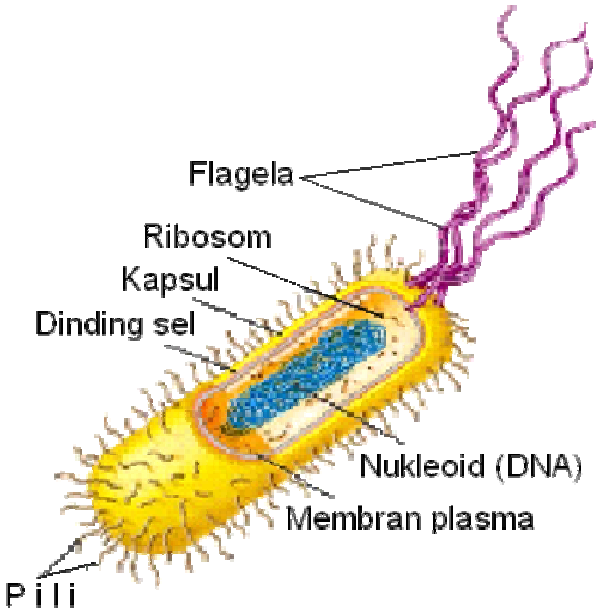
Perkembangan pengetahuan tentang sel tidak terlepas dari perkembangan ilmu di bidang lainnya. Dengan teknik pewarnaan secara histokimia dan penggunakan mikroskop elektron, terungkap bahwa di dalam sitoplasma, terdapat berbagai macam organel (organ kecil).

Semua sel mempunyai sifat-sifat dasar secara umum. Semua sel dibatasi oleh membran plasma. Di dalamnya terdapat bahan semicair yang dinamakan sitosol yang mengandung organel-organel. Semua sel mengandung kromosom, yang membawa gen-gen (DNA, asam nukleat deoksiribosa). Semua sel mengandung ribosom yang merupakan organel kecil yang berfungsi membentuk protein menurut instruksi dari gen.

Berdasarkan keadaan intinya, sel dibedakan dalam dua macam, yaitu: sel prokariotik dan sel eukariotik. Pada sel prokariotik, materi inti (DNA) terdapat dalam nukleoid yang tidak dibatasi oleh membran inti. Contoh sel prokariotik ialah bakteri, dan gangang biru yang termasuk

Monera. Sedangkan pada sel eukariotik terdapat membran inti, yang memisahkan materi inti (DNA dan protein histon membentuk kromosom) dari sitoplasma. Sel eukariotik dijumpai pada Tumbuhan, Hewan, Cendawan, dan Protista.

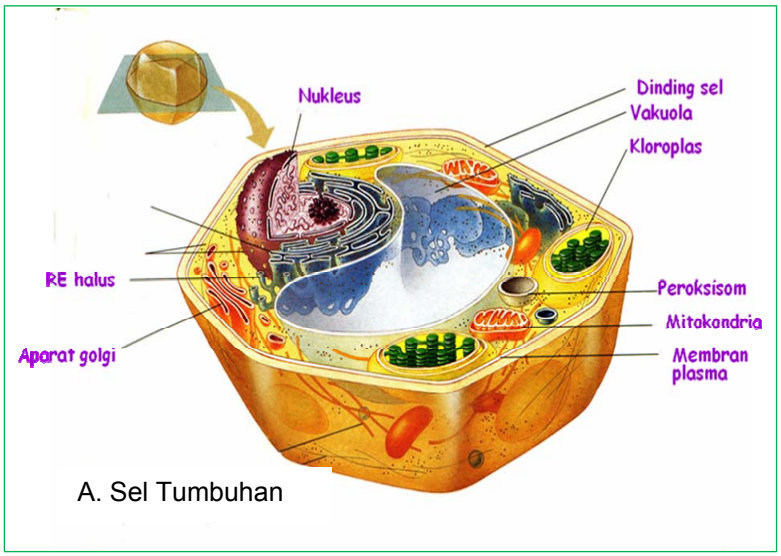
Sel bakteri dibatasi oleh membran plasma. Di dalamnya terdapat nukleoid (DNA) tanpa dibatasi oleh membran inti, dan ribosom (lihat Gambar 2.1 Di sebelah luar dari membran plasma terdapat dinding sel yang disusun oleh peptidoglikan (kompleks gula dan protein). Pada sebagian bakteri sel tersebut dibungkus oleh kapsul (disusun oleh gula). Bakteri mempunyai alat gerak berupa flagel. Pada permukaan sel bakteri terdapat pili yang dapat digunakan untuk menempel pada substratnya. Pada bakteri fotosintetik dan ganggang hijau biru terdapat klorofil yang tersebar dalam sitoplasma, tanpa membran yang membatasinya dengan bagian sel lainnya. Jadi, sel prokariotik ada yang mempunyai klorofil tetapi tidak dalam kloroplas (plastid yang berwarna hijau). Sel prokariotik mempunyai ukuran yang jauh lebih kecil (kurang lebih sepersepuluhnya) dari sel eukariotik.

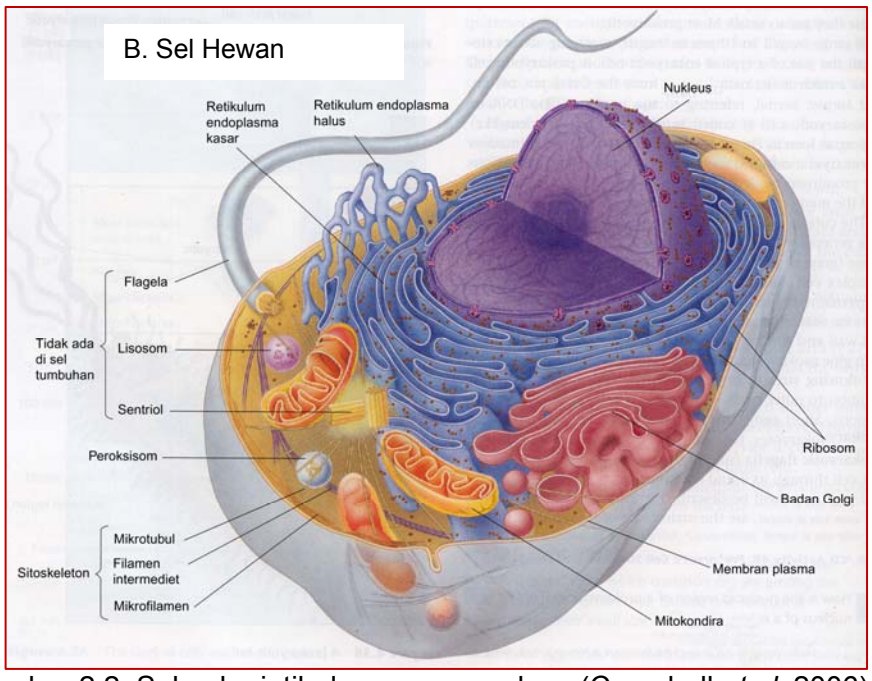


Gambar 2.1 Sel bakteri prokariotik (Campbell *et al*, 2006).

Pada sel tumbuhan, sel hewan, dan sel eukariotik lainnya, selain membran plasma yang membatasi sel dengan lingkungan luarnya, juga terdapat sistem membran dalam (internal) yang membatasi organel-organel di bagian dalam sel dengan sitoplasma (lihat Gambar 2.2). Nukleus (inti) dibatasi oleh membran inti sehingga bahan-bahan yang ada di dalamnya terpisah dari sitoplasma. Vakuola terpisah dari sitoplasma karena dibatasi oleh membran (tonoplas). Demikian juga

pada organel bermembran lainnya, yang terpisah satu sama lain sehingga masing-masing organel menyelenggarakan reaksi-reaksi kimia secara terpisah. Dengan kata lain, sel eukariotik telah mengalami kompartementasi, terbagi dalam beberapa ruang.





Gambar 2.2. Sel eukariotik dengan organelnya (Campbell *et al*, 2006).

Secara ringkas, perbedaan sel prokariotik dan sel eukariotik dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1. Perbedaan sel prokariotik dan sel eukariotik

Struktur	Prokariotik	Eukariotik
Membran nukleus	-	+
Membran plastida	-	+
Nukleus	+	+
Plastida	-	+/-
Mitokondria	-	+
Badan Golgi	-	+
DNA	+	+
RNA	+	+
Histon	-	+
Pigmen	+	+

Keterangan: - (tidak ada); + (ada)

Berdasarkan jumlah kromosom dan fungsinya, sel dibedakan ke dalam dua kelompok, yaitu sel somatik dan sel reproduktif. Sel somatik merupakan sel-sel penyusun tubuh, dengan jumlah kromosom 2n (diploid). Dalam proses pertumbuhan makhluk hidup multiseluler sel somatik mengalami proses pembelahan mitosis. Sel reproduktif berfungsi untuk perbanyakan makhluk hidup secara seksual. Sel ini dibentuk melalui proses meiosis sehingga mempunyai jumlah kromosom n (haploid).

Bagian sel ada yang bersifat hidup dan ada yang mati. Bagian sel yang hidup dikenal sebagai protoplasma, terdiri atas inti dan sitoplasma. Bagian mati berupa dinding sel dan isi vakuola.

Sel-sel pada tubuh hewan dan tumbuhan termasuk dalam golongan sel eukariotik, sedangkan pada mikroorganisme ada yang eukariotik misalnya protozoa, protista, dan fungi. Ada pula yang bersifat prokariotik misalnya pada bakteri dan ganggang biru.

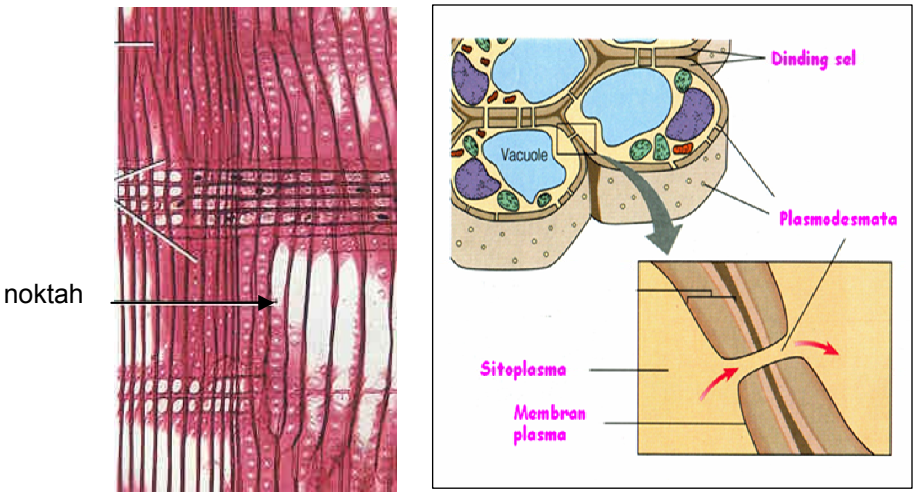
2.2. Struktur dan fungsi organel sel

Sel merupakan kesatuan struktural dan fungsional penyusun makhluk hidup yang dapat memperbanyak diri. Aktivitas yang ada dalam sel terjadi dalam organel-organel yang mendukung fungsi-fungsi tertentu. Adapun fungsi dari bagian-bagian penyusun sel adalah sebagai berikut:

2.2.1. Dinding sel

Dinding sel bersifat permeabel, berfungsi sebagai pelindung dan pemberi bentuk tubuh. Sel-sel yang mempunyai dinding sel antara lain: bakteri, cendawan, ganggang (protista), dan tumbuhan. Kelompok makhluk hidup tersebut mempunyai sel dengan bentuk yang jelas dan

kaku (*rigid*). Pada protozoa (protista) dan hewan tidak mempunyai dinding sel, sehingga bentuk selnya kurang jelas dan fleksibel, tidak kaku. Pada bagian tertentu dari dinding sel tidak ikut mengalami penebalan dan memiliki plasmodesmata (Gambar 2.3), disebut noktah (titik).



Gambar 2.3 Noktah pada batang pinus (A) dan Plasmodesmata (B) (Campbell *et al,* 2006).

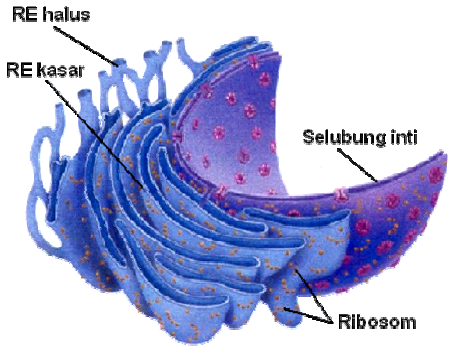
2.2.2. Membran plasma

Membran plasma membatasi sel dengan lingkungan luar, bersifat semi/selektif permeabel, berfungsi mengatur pemasukan dan pengeluaran zat ke dalam dan ke luar sel dengan cara difusi, osmosis, dan transport aktif. Membran plasma disusun oleh fosfolipid, proten, kolesterol, dl.

2.2.3. Sitoplasma

Sitoplasma merupakan cairan sel yang berada di luar inti, terdiri atas air dan zat-zat yang terlarut serta berbagai macam organel sel hidup. Organel-organel yang terdapat dalam sitoplasma antara lain::

a. Retikulum Endoplasma (RE) berupa saluran-saluran yang dibentuk oleh membran (Gambar 2.4). RE terbagi dua macam, yaitu RE halus dan RE kasar.

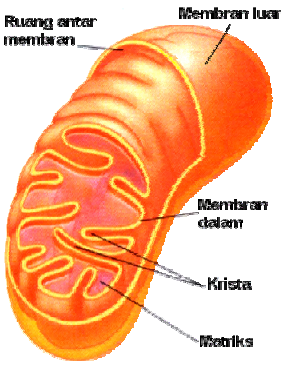


Gambar 2.4 Retikulum Endoplasma
(Campbell, *et al* 2006).

Pada RE kasar terdapat ribosom, berfungsi sebagai tempat sintesis protein. Sedangkan pada RE halus tidak terdapat ribosom, berfungsi sebagai tempat sintesis lipid.

b. Ribosom terdiri atas dua unit yang kaya akan RNA, berperan dalam sintesis protein. Ribosom ada yang menempel pada RE kasar dan ada yang terdapat bebas dalam sitoplasma.

c. Mitokondria memiliki membran rangkap, membran luar dan membran dalam. Di antara kedua membran tersebut terdapat ruang antar membran. Membran dalam berlekuk-lekuk disebut *krista* yang berfungsi untuk memperluas bidang permukaan agar proses penyerapan oksigen dan pembentukan energi lebih efektif. Pada bagian membran dalam terdapat enzim ATP sintase yang berfungsi sebagai tempat sintesis ATP. Fungsi mitokondria ini adalah tempat respirasi aerob.



Gambar 2.5. Mitokondria
(Campbell, *et al* 2006).

d. Lisosom berupa butiran kecil/bundar, berisi enzim pencerna yang berfungsi dalam pencernaan intrasel.

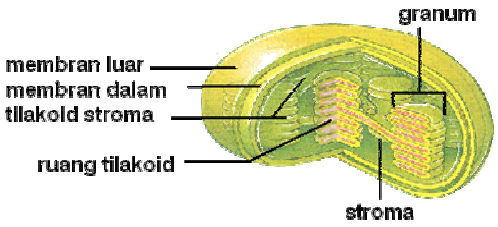
e. Aparatus Golgi (Badan Golgi) berupa tumpukan kantung-kantung pipih, berfungsi sebagai tempat sintesis dari sekret (seperti getah pencernaan, banyak ditemukan pada sel kelenjar), membentuk

protein dan asam inti (DNA/RNA), serta membentuk dinding dan membran sel.

f. Plastida

Berbentuk bulat cakram yang ditemukan pada tumbuhan, terbagi atas tiga macam:

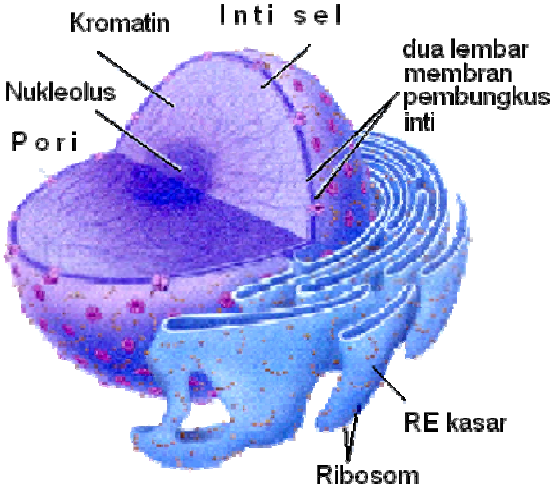
- Leukoplas = Amiloplas: plastida yang tidak berwarna, dapat membentuk dan menyimpan butir-butir zat tepung/pati.
- Kromoplas adalah plastida berwarna selain hijau, karena adanya pigmen: melanin (hitam), likopin (merah), xantophil (kuning), karoten (jingga), fikosianin (biru), dan fikoeritrin (coklat).
- Kloroplas merupakan plastida berwarna hijau, karena mengandung zat hijau daun (klorofil), terdiri atas: klorofil a (warna hijau biru=$C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) dan klorofil b (warna hijau kuning=$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$).



Gambar 2.6. Kloroplas (Campbell, *et al* 2003).

g. Vakuola berbentuk rongga bulat, berisi senyawa kimia tertentu atau sisa produk metabolisme sel, yang mengandung berbagai macam zat sesuai pada jenis selnya. Misalnya dapat berisi garam nitrat pada tanaman tembakau, tanin pada sel-sel kulit kayu, minyak eteris pada kayu putih dan mawar, terpentin pada damar, kinin pada kina, nikotin pada tembakau, likopersin pada tomat, piperin pada lada.

h. Nukleus (Inti sel) dibatasi oleh membran inti, mengandung benang-benang kromatin dan nukleolus (anak inti sel). Membran inti terdiri atas dua lapis dan mempunyai pori. Benang-benang kromatin akan memendek pada waktu proses pembelahan sel membentuk kromosom. Nukleus berfungsi mengatur segala aktivitas yang terjadi dalam sel (Gambar 2.7).



Gambar 2.7. Nukleus dan Retikulum Endoplasma kasar (Campbell, *et al* 2006).

2.3. Perbedaan sel tumbuhan dan sel hewan

Data observasi dengan menggunakan mikroskop cahaya pada sediaan sel daun tumbuhan (*Elodea* s*p)* dan sel epitel pipi manusia diperoleh hasil sesuai Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Perbandingan sel *Elodea* dan sel epitel pipi

No	Bagian sel	*Elodea, Hydrilla, Valesneria*	Sel epitel pipi
1	Sitoplasma	Ada	Ada
2	Inti/nukleus	Ada	Ada
3	Kloroplas	Ada	Tidak ada
4	Dinding sel	Ada	Tidak ada
5	Membran sel	Ada	Ada

Dari Tabel 2.2 kalian dapat mengetahui persamaan antara sel hewan dan sel tumbuhan, yaitu bagian-bagian yang dijumpai pada sel *Elodea* dan epitel pipi (sebutkan!) Demikian juga kalian dapat mengetahui ciri-ciri khas tumbuhan, yaitu bagian-bagian yang dijumpai pada sel *Elodea* tetapi tidak dijumpai pada sel epitel pipi. Dengan adanya kloroplas pada sel *Elodea* maka tumbuhan ini dapat mensintesis makanannya sendiri melalui proses fotosintesis. Demikian juga adanya dinding sel pada sel *Elodea* menjadikan bentuk selnya lebih jelas dibandingkan pada sel pipi.

Jika kalian amati secara cermat, kloroplas, dan inti sel *Elode* terletak di pinggir dekat ke dinding sel. Hal ini disebabkan dibagian tengah dari sel tumbuhan terdapat adanya vakuola besar yang terletak di tengah-tengah sel (disebut vakuola sentral), sedangkan pada sel

hewan tidak teramati adanya vakuola sentral, karena ukuran vakuolanya kecil.

Karena sel hewan tidak mempunyai kloroplas (plastid) maka tidak dapat melakukan fotosintesis sehingga energi yang diperolehnya bukan dari cahaya matahari, tetapi berasal dari makanan. Dalam sel hewan, organel yang disebut lisosom (karena ukurannya kecil maka tidak dapat diamati dengan mikroskop cahaya) berfungsi mencerna makanan yang diabsorbsi oleh sel. Organel ini tidak dijumpai pada sel tumbuhan.

Apabila kita mengamati reproduksi seksual pada sel hewan dan sel tumbuhan maka pada saat proses pembelahan sel terdapat adanya sentriol dekat inti sel hewan. Organel ini umumnya tidak terdapat pada sel tumbuhan. Gamet jantan pada hewan mempunyai flagel, sedangkan pada pada tumbuhan tingkat tinggi tidak berflagel.

Berdasarkan pengamatan dan keterangan tersebut, kita dapat menyebutkan perbedaan antara sel tumbuhan dan sel hewan, Perbedaan kedua makhluk hidup tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Perbedaan sel tumbuhan dan sel hewan

Ciri	Sel tumbuhan	Sel hewan
Dinding sel	Ada	Tidak ada
Bentuk sel	Tetap	Bervariasi
Butir plastida	Ada	Tidak ada
Asal energi	Fotosintesis	Makanan
Vakuola	Vakuola besar (Sentral)	Lisosom
Sentriol	Tidak ada	Ada
Flagel	Tidak ada	Ada

2.4. Ciri-ciri mahluk hidup

Selain ada perbedaan, antara hewan dan tumbuhan juga mempunyai banyak persamaan yang merupakan ciri makhluk hidup. Ciri-ciri makhluk hidup antara lain: memerlukan makanan (nutrisi), bernafas (respirasi), ekskresi, sintesis, tumbuh dan berkembang, regulasi, reproduksi, iritabilitas, adaptasi, interaksi dengan lingkungan, serta bentuk dan ukuran tertentu, terdiri dari sel.

a. Nutrisi

Makhluk hidup memerlukan makanan dan memilih jenis makanan yang sesuai dengan kondisi tubuhnya. Makanan tersebut akan mengalami proses pemecahan secara enzimatis untuk mendapatkan energi dalam melakukan aktivitas, penyusun sel-sel, dan mengganti bagian yang rusak. Makanan yang diperlukan untuk melaksanakan aktivitas hidup disebut **nutrisi**.

b. Respirasi

Respirasi atau pernafasan adalah proses penyederhanaan senyawa kimia dari zat makanan untuk mendapatkan energi. Pernafasan dapat terjadi secara:

* Aerob (memerlukan oksigen)
* Anaerob (tidak menggunakan oksigen, melalui proses fermentasi).

c. Ekskresi

Pengeluaran senyawa-senyawa kimia sisa metabolisme yang tidak berguna bagi tubuh makhluk hidup, dan bila terdapat dalam tubuh akan bersifat toksik (meracuni).

d. Sintesis

Dalam tubuh terjadi perubahan dari suatu senyawa ke senyawa lain untuk kepentingan penyusun tubuh, memelihara kelangsungan hidup, dan mempertahankan tubuh dalam berinteraksi dengan lingkungan. Penyusunan senyawa kimia dalam tubuh untuk aktivitas hidu*p* dinamakan **sintesis**.

e. Pertumbuhan dan perkembangan

Pertumbuhan merupakan proses bertambahnya volume dan jumlah sel serta jumlah senyawa kimia dalam tubuh yang bersifat irreversible (tidak kembali ke asal) pada jangka waktu tertentu. **Perkembangan** adalah pertumbuhan yang diikuti dengan berubah sifat menuju kedewasaan. Sedangkan diferensiasi adalah pertumbuhan sel diikuti dengan spesialisasi (fungsi khusus) sel.

f. Regulasi

Pengaturan baik secara kuantitas maupun kualitas pada setiap saat terhadap sruktur suatu sistem metabolisme dalam makhluk hidup disebut dengan **regulasi**.

g. Iritabilitas

Iritabilitas dimaksudkan sebagai kemampuan makhluk hidup menerima rangsang dan sanggup mengadakan respons terhadap rangsangan tersebut.

h. Reproduksi

Proses bertambahnya jumlah individu yang berperan untuk kelestarian keturunannya disebut **reproduksi.**

i. Adaptasi

Penyesuaian diri dengan keadaan lingkungan pada waktu yang relatif pendek disebut **toleransi**, sedangkan toleransi yang berlangsung dalam waktu yang relatif panjang disebut **adaptasi.**

j. Interaksi

Untuk menjaga stabilitas hidupnya atau mempertahankan hidupnya makhluk hidup harus bersaing dengan individu lain. Persaingan terjadi dalam mendapatkan tempat hidup, makanan, cahaya dan lainnya.

k. Makhluk hidup memiliki bentuk dan ukuran tertentu, dan terdiri dari sel

Makhluk hidup sangat bervariasi baik jenis maupun bentuk serta ukurannya, tetapi setiap jenis menunjukkan bentuk yang spesifik serta ukuran tertentu pula. Variasi dalam satu jenis tidak dapat menghilangkan bentuk spesifiknya. Makhluk hidup memiliki kesamaan yaitu tersusun oleh sel.

Bagaimana dengan virus? Apakah virus merupakan makhluk hidup atau benda mati ? Virus terdiri dari asam nukleat (DNA/RNA) yang dibatasi oleh mantel protein, bukan merupakan sel. Virus dapat dikristalkan (ciri benda mati). Virus memiliki sifat makhluk hidup, yaitu: dapat berkembangbiak dan beradaptasi dengan melalui mutasi. Namun demikian virus hanya dapat hidup dan berkembangbiak dalam tubuh makhluk hidup. Dalam media buatan virus tidak dapat hidup dan berkembangbiak. Oleh karena itu, sebagian ahli biologi menempatkan virus sebagai ’jembatan’ antara yang mahkluk hidup dan benda mati.

Rangkuman

Sel pertama sekali ditemukan Ilmuwan Inggris, Robert Hooke (1665) dengan meneliti sayatan gabus di bawah mikroskop yang terdiri dari ruangan-ruangan yang dibatasi oleh dinding disebut sel. Pada tahun 1839, seorang biolog Perancis, Felix Durjadin menemukan isi penyusun dalam rongga sel disebut sarcode. Johanes Purkinje (1789-1869) mengadakan perubahan nama sarcode menjadi protoplasma. Theodore Schwann (1801-1881), seorang pakar zoologi Jerman dan Mathias Schleiden (1804-1881), pakar botani Jerman mengemukakan bahwa tubuh hewan dan tumbuhan terdiri atas sel-sel. Robert Brown (1831), seorang biolog Skotlandia menemukan inti (nukleus). Max Schultze (1825-1874), seorang pakar anatomi mengemukakan protoplasma merupakan dasar fisik kehidupan. Rudolf Virchow mengatakan sel berasal dari sel “*Omnis Cellula Cellula*”.

Sel dibedakan atas beberapa bentuk, diantaranya berdasarkan keadaan inti sel (sel eukariotik dan prokariotik), berdasarkan keadaan kromosom dan fungsinya (sel somatik dan reproduktif), berdasarkan sifatnya (bagian hidup dan bagian yang mati).

Sel tumbuhan terdiri atas: dinding sel, membran plasma, sitoplasma, dan organel-organel (retikulum endoplasma kasar dan halus, ribosom, mitokondria, apartus golgi, plastida, vakuola sentral dan nukleus). Sedangkan sel hewan terdiri atas membran sel, sitoplasma dan organel-organel (retikulum endoplasma kasar dan halus, ribosom, mitokondria, lisosom, aparatus golgi, vakuola, dan nukleus).

Perbedaan sel tumbuhan dan sel hewan adalah sel tumbuhan bentuknya tetap, terdiri dari dinding sel yang mengandung selulosa, terdapat butir plastida, dan vakuola sentral yang besar, tidak ada lisosom dan sentriol. Sedangkan sel hewan bentuknya bervariasi, tidak ada butir plastida, vakuola kecil, terdapat lisosom dan sentriol.

Makhluk hidup memiliki ciri-ciri utama sebagai berikut: dapat melakukan nutrisi, transportasi, respirasi, ekskresi, sintesis, pertumbuhan dan perkembangan, regulasi, iritabilitas, reproduksi, adaptasi, interaksi, memiliki bentuk dan ukuran tertentu, serta terdiri dari sel. Virus merupakan ’jembatan’ antara makhluk hidup dan benda mati.

Soal Latihan

A. Berilah tanda silang (x) pada huruf a, b, c, d, atau e untuk jawaban yang tepat!

1. Perbedaan RE kasar dan RE halus dengan adanya ....
   a. lisosom
   b. sentrosom
   c. ribosom
   d. mitokondria
   e. badan golgi

2. Organel di bawah ini yang memiliki sistem membran rangkap adalah ....
   a. lisosom dan ribosom
   b. mitokondria dan kloroplas
   c. badan golgi dan RE kasar
   d. vakuola dan sentrosom
   e. peroksisom dan sentriol

3. Persamaan sel prokariotik dan sel eukariotik adalah keduanya memiliki ....
   a. membran inti dan membran sel
   b. dinding sel dan kompleks golgi
   c. sitoplasma dan membran inti
   d. membran sel dan ribosom
   e. kloroplas dan ribosom

4. Di bawah ini organel yang terdapat di dalam sel ....
   1. kloroplas
   2. mitokondria
   3. dinding sel
   4. vakuola
   5. sentrosom
   6. lisosom

Organel yang hanya dimiliki sel hewan adalah ....
a. 1, 2, dan 3 d. 1,3, dan 5
b. 1, 5, dan 6 e. 5 dan 6
c. 4 dan 5

5. Aktivitas kehidupan makhluk hidup dapat tercermin melalui aktivitas sel. Hal ini sesuai dengan teori sel yaitu sel merupakan kesatuan ....
a. struktural d. fungsional
b. herediter e. pertumbuhan
c. regenerasi

6. Yang bukan termasuk dalam organel sel tumbuhan adalah ....
a. plastida d. ribosom
b. dinding sel e. lisosom
c. vakuola

7. Plastid berwarna hijau disebut ....
a. klorofil d. kloroplas
b. kromoplast e. karoten
c. leukoplast

8. Proses bertambahnya volume dan jumlah sel serta jumlah senyawa kimia dalam tubuh yang bersifat irreversible (tidak kembali ke asal) pada jangka waktu tertentu disebut dengan ....
a. nutrisi b. respirasi c. pertumbuhan d. eksresi e. sintesis

9. Dinding sel tidak dijumpai pada sel ....
a. bakteri d. tumbuhan
b. ganggang e. hewan
c. cendawan

10. Irritabilitas adalah ....
a. penyusunan senyawa kimia dalam tubuh untuk aktivitas hidup
b. proses pemecahan senyawa anorganik menjadi organik
c. kemampuan makhluk hidup menerima rangsang dan berespons
d. proses bertambahnya jumlah individu untuk kelestarian keturunan
e. penyesuaian diri dengan keadaan lingkungan dalam waktu pendek

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!

1. Apakah perbedaan ketiga plastida (leukoplas, kromoplas, dan kloroplas) pada tumbuhan?

2. Tuliskan fungsi organel sel: a. mitokondria b. ribosom c. lisosom d. retikulum endoplasma e.vakuola f. plastida

3. Pada makhluk hidup apa sajakah sel prokariotik ditemukan?

4. Gambarkan perbedaan anatomi sel hewan dan sel tumbuhan!

5. Tuliskan perbedaan sel eukariotik dan sel prokariotik!

6. Buatlah secara skematis perbedaan sel tumbuhan dan sel hewan!

7. Apakah yang dimaksud dengan *Omnis Cellula Cellula*?

8. Sebutkan lima orang ilmuwan yang meneliti organel sel !

9. Gambarkan inti sel dan sebutkan bagian-bagiannya.

10. Apakah yang dimaksud dengan:
    a. nutrisi
    b. reproduksi
    c. metabolisme
    d. adaptasi

BAB III

SISTEM METABOLISME SEL

Standar Kompetensi

Mengidentifikasi metabolisme dan enzim.

Kompetensi Dasar

3.1. Katabolisme (Respirasi)
3.2. Anabolisme (Fotosintesis)
3.3. Klasifikasi enzim dan peranannya

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari *Sistem Metabolisme Sel*, kalian diharapkan dapat:

- Mendeskripsikan proses katabolisme (respirasi) pada makhluk hidup
- Mendeskripsikan proses anabolisme (fotosintesis) pada makhluk hidup.
- Mengidentifikasi enzim dan peranannya.

Kata-Kata Kunci

Anabolisme	Hiperparasit
Autotrof	Insectivor
Asimilasi	Katabolisme
Biokatalisator	Kemosintesis
Enzim	Metabolisme
Fermentasi	Parasit Fakultatif
Fotosintesis	Parasit Obligat
Haustorium	Respirasi
Heterotrof	

Setiap makhluk hidup mengadakan pertukaran zat dengan lingkungannya, artinya makhluk hidup tidak hanya mengambil zat-zat tertentu dari lingkungannya, tetapi ia juga mengembalikan zat-zat tertentu kedalam lingkungannya. Inilah yang disebut proses metabolisme. Metabolisme adalah reaksi kimia untuk pembentukkan

dan perombakan bahan organik. Metabolisme dibedakan ke dalam anabolisme dan katabolisme.

1. Anabolisme, yaitu pembentukan senyawa-senyawa kompleks dari senyawa sederhana. Proses ini memerlukan energi.

2. Katabolisme, yaitu penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa-senyawa sederhana. Proses ini menghasilkan energi. Energi ini dapat digunakan oleh makhluk hidup untuk berbagai kegiatan.

Makhluk hidup memerlukan materi dan energi untuk pertumbuhannya. Materi diperoleh dari tanah, air, dan udara. Energi diperoleh dari matahari, reaksi kimia, atau dari makanan. Berdasarkan cara mendapatkan materi dan energi, setiap makhluk hidup dibedakan menjadi 4 kelompok, yaitu:

1. **fotoautotrof** (mensintesis makanan sendiri dengan menggunakan energi cahaya matahari melalui proses fotosintesis).
   Contoh: tumbuhan, dan makhluk hidup berklorofil lainnya.

2. **kemoautotrof** (mensintesis makanan sendiri dengan menggunakan energi dari reaksi kimia). Contohnya: bakteri *Nitrosomonas*, bakteri sulfur, dan bakteri besi).

3. **fotoheterotrof** (mengubah zat organik dengan bantuan energi matahari dijadikan makanannya. Contohnya: bakteri *purple*/ungu.

4. **kemoheterotrof** (mengubah zat organik dengan bantuan energi dari reaksi kimia.

Makhluk hidup autotrof dapat mensintesis makanannya sendiri, sedangkan makhluk hidup heterotrof tidak dapat mensintesis makanannya sendiri. Untuk membangun tubuh maupun sebagai sumber energinya, makhluk hidup heterotrof mengambil zat-zat organik dari lingkungannya. Jadi makhluk hidup yang tidak dapat membuat makanannya sendiri, secara langsung atau tidak langsung, hidupnya bergantung pada makhluk lain. Berdasarkan cara hidupnya, makhluk hidup heterotrof dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu:

1. ***Saprofit*,** yaitu makhluk hidup yang hidupnya bergantung pada sisa-sisa makhluk hidup lainnya yaitu dengan menguraikannya sehingga disebut juga **makhluk hidup pengurai**. Jenis tumbuhan ini menggunakan energi yang tersimpan dalam sisa-sisa makhluk hidup yang telah mati tersebut. Contoh sebagian besar jamur dan bakteri.

2. ***Simbion*****,** yaitu makhluk hidup yang hidup bersama dengan makhluk hidup yang lain.

a. *Simbion helotisme = simbion parasitisme*, kedua simbion hidup bersama, yang satu (inang) dirugikan dan yang lain (parasit) mendapatkan keuntungan.

b. *Simbion mutualisme*, kedua simbion yang hidup bersama ini mendapat keuntungan. Contoh : bakteri *Rhizobium* yang hidup pada bintil akar tumbuhan kacang-kacangan (legum)

c. *Simbion komensalisme*, dalam hidup bersama ini, makhluk hidup yang satu mendapatkan keuntungan, sedang makhluk hidup yang lain tidak mendapat rugi maupun untung.

Parasit adalah makhluk hidup yang sebagian besar atau seluruh kebutuhan hidupnya bergantung pada makhluk lain yang ditumpanginya (inang).

1. Berdasarkan cara hidupnya, parasit dapat dibedakan atas:

a. **Parasit obligat**, yaitu makhluk hidup yang hanya dapat hidup sebagai parasit saja, hidupnya bergantung sekali pada inang. . Contoh tali putri (*Cassytha filiformis*).

b. **Parasit fakultatif**, yaitu makhluk hidup yang hidupnya tidak hanya sebagai parasit, tetapi juga dapat hidup sebagai saprofit. Contoh: *Phytophthora parasitica* pada tembakau dan tomat.

2. Berdasarkan kebutuhan makanannya, parasit dibagi atas:

a. **Parasit sejati**, parasit yang seluruh kebutuhannya diambil dari inangnya. Contoh: tali putri, tumbuhan ini mengisap makanannya dari inangnya dengan akar isap (haustorium).

b. **Semi atau parasit** (parasit setengah), yaitu parasit yang sebagian dari kebutuhan makanannya diambil dari inangnya. Contoh: Benalu.

c. **Hiper parasit**, yaitu parasit yang hidup pada parasit lainnya. Contoh: *Vicum* sp. tumbuh pada benalu.

Tubuh makhluk hidup disusun oleh materi. Materi diperoleh dari udara (misalnya oksigen untuk pernafasan, karbon dioksida untuk fotosintesis), air dan bahan-bahan yang terlarut, atau dari makanan. **Nutrien** adalah zat hara yang dibutuhkan setiap makhluk hidup untuk

keperluan penyusun tubuhnya. Setiap makhluk hidup membutuhkan *nutrien organik* maupun *nutrien anorganik***.** Lingkungan abiotik hanya menyediakan nutrient anorganik saja. Nutrient organik dapat dibuat dari nutrient anorganik bagi makhluk hidup autotrof. Prosesnya disebut *asimilasi.* Asimilasi dapat secara fotosintesis (asimilasi karbon) maupun secara kemosintesis (asimilasi nitrogen).

Beberapa tumbuhan yang hidup di tempat gersang, kekurangan memperoleh nutrien tertentu. Pernahkah kalian melihat kantong semar (*Nephentes)*. Dinamakan kantong semar karena sebagian dari daun ada yang mengalami modifikasi membentuk piala (berbentuk seperti kantung). Tahukah kalian, apa fungsi kantong tersebut? Kantong ini berfungsi sebagai perangkap serangga. Serangga yang terperangkap akan menempel di dalamnya dan akhirnya mati. Serangga ini akan dicerna dan menghasilkan nutrisi bagi tumbuhan tersebut, terutama nitrogen, yang umumnya sedikit dijumpai di daerah gersang. Oleh karena itu, tumbuhan ini disebut juga insektivora , yang artinya pemakan serangga. Tumbuhan pemakan serangga ini juga melakukan asimilasi karbon (C).

Tubuh tumbuhan disusun oleh berbagai macam zat. Cara untuk mengetahui unsur-unsur yang terdapat dalam tubuh tumbuh-tumbuhan adalah dengan analisis kimia melalui kultur air atau kultur pasir. Tujuan dilakukan kedua kultur tersebut adalah:

a. Untuk mengetahui unsur-unsur yang diperlukan
b. Untuk mengetahui bentuk dan asal unsur-unsur tersebut diambil oleh tumbuh-tumbuhan.

Cara lain untuk mengetahui unsur-unsur penyusun tubuh tumbuhan adalah dengan *Analisis Abu.* Tumbuhan yang dianalisis dikeringkan sampai 110ºC untuk mengetahui bobot keringnya, kemudian dibakar serta diperiksa kadar abu serta gas-gas yang keluar, untuk menunjukkan adanya berbagai macam unsur yang menyusun tubuh tumbuhan. Unsur-unsur ini dapat dibedakan atas tiga golongan, yaitu:

1. Unsur- unsur makro, yaitu unsur-unsur yang selalu terdapat pada tubuh tumbuhan dalam jumlah banyak dan harus ada di tubuh tanaman. Unsur-unsur makro terdiri dari: C, H, O, N, S, P, Ca, K, Mg, Fe. Unsur-unsur ini dikenal juga sebagai penyusun tubuh tumbuhan sehingga disebut unsur-unsur klasik atau unsur-unsur Sachs, sesuai dengan nama penemunya.

2. Unsur-unsur mikro, yaitu unsur yang mutlak diperlukan oleh tumbuhan, tetapi jumlahnya sangat kecil. Dalam jumlah banyak

unsur ini dapat menyebabkan keracunan. Unsur-unsurnya adalah: Cl, Zn, B, Mo, Mn, dan Cu.

3. Unsur-unsur tambahan, yaitu unsur yang hanya terdapat pada tumbuhan tertentu, kadang-kadang dalam persentasi yang cukup tinggi misalnya, Na, Al, Cl, dan Si.

Fungsi unsur-unsur tersebut untuk tumbuh-tumbuhan:

C-H-O: Pembentuk karbohidrat, protein, lemak, asam nukleat (DNA dan RNA), serta senyawa organik lainnya.
N : Pembentuk protein, dan asam nukleat
P : Pembentuk asam nukleat, ATP, ADP
S : Pembentuk protein.
K : Pembentuk enzim.
Ca : Pembentuk dinding sel.
Mg : Pembentuk klorofil.
Fe : Sebagai katalisator.

Semua unsur-unsur yang diperlukan diambil dari dalam tanah oleh akar dalam bentuk larutan garam mineral, kecuali CO_2 (untuk berfotosintesis) dan O_2 (untuk berespirasi) yang diambil dari udara dalam bentuk gas. Karbondioksida masuk melalui ke dalam tubuh tumbuhan melalui mulut daun (stoma) dan lentisel.

Dahulu dianggap bahwa semua zat yang diperlukan tumbuhan diambil dari humus yang terdapat di dalam tanah. Pendapat itu dikenal dengan teori humus. Menurut hasil penelitian para ahli, tumbuhan mengambil zat-zat dari lingkungannya. Sekarang timbul pertanyaan zat-zat apakah yang diambil dari tanah, dan zat-zat apa yang berasal dari udara? Bagaimanakah cara mengetahui bahwa zat-zat tertentu mutlak diperlukan oleh tumbuhan sedangkan zat-zat lainnya tidak begitu dibutuhkan tumbuhan?

Dengan menjalankan percobaan menggunakan kultur air atau kultur pasir yang diberi zat makanan, pertanyaan diatas dapat dijawab sebagai berikut. Unsur C diambil dari udara dalam bentuk CO_2. Hal ini dapat dibuktikan dengan percobaan mengalirkan udara tanpa CO_2 kepada tumbuhan, ternyata pertumbuhannya berhenti.

Unsur-unsur selain C yang diperlukan tumbuhan diambil dalam bentuk zat anorganik berupa ion-ion garam. Baik dalam bentuk anion maupun kation dalam larutan. Dengan mengurangi zat-zat makanan dalam larutan secara bergantian, maka diketahui ada zat mutlak diperlukan (sebagai unsur esensial) dan ada yang tidak (non esensial). Bila zat yang mutlak diperlukan tidak diberikan, tumbuhan

akan memperlihatkan gejala sakit (kekurangan unsur), yang disebut defisiensi. Selanjutnya dapat kita lihat fungsi unsur-unsur di atas dan gejala defisiensi yang muncul jika kekurangan unsur tersebut dialami oleh suatu tumbuhan.

Unsur-unsur **C, H, O**. Unsur-unsur ini mempunyai peranan dalam proses fotosintesis (asimilasi karbon) yang diambil dalam bentuk CO_2 dari udara, dan H_2O dari dalam tanah. Kekurangan air berakibat fatal pada tumbuhan, yaitu menyebabkan tumbuhan menjadi layu, kering dan mati.

Nitrogen (N). Unsur ini terutama dibutuhkan untuk membentuk protein bersama-sama dengan unsur C, H, O. Protein banyak dibutuhkan pada bagian yang sedang tumbuh sehingga penting sekali untuk pertumbuhan vegetatif. Gejala kekurangan unsur N, terutama pada daun tua, adalah warna daun menjadi hijau muda dan akhirnya kuning, tanaman menjadi kerdil, buah tak sempurna, kecil-kecil dan lekas masak.

Fosfor (P). Unsur ini terutama dibutuhkan untuk pembentukan bunga dan buah, yakni pada bagian-bagian tanaman yang sedang dalam pertumbuhan, jika kekurangan unsur P, pada daun tua terlihat gejala antara lain warna daun hijau tua, atau lebih tua daripada biasanya, tanaman kerdil, pembentukan buah jelek, menurunkan hasil biji.

Kalium (K). Unsur ini bersifat bergerak (mobil). Peranannya adalah memperlancar pertukaran zat, proses asimilasi, dan memperkuat serabut-serabut, sehingga secara langsung memperkuat tubuh tumbuhan itu. Defisiensi unsur ini memperlihatkan gejala pada daun tuanya, daun mula-mula berkerut, ujung daun tepinya pucat (klorosis), kadang-kadang gugur dan buahnya lekas gugur, umbinya berkurang, dan batangnya juga lemah.

Sulfur (S). Unsur ini perlu untuk membentuk protein bersama unsur C, H, O, dan N. Selain itu, unsur ini untuk mmembentuk vitamin B1, juga penting untuk ketahanan dan pertumbuhan. Defisiensi unsur ini pada daun muda terlihat warnanya menjadi hijau muda, kadang-kadang tidak merata sehingga menjadi kekuning-kuningan.

Magnesium (Mg). Unsur ini digunakan untuk membentuk klorofil. Defisiensi Mg terjadi pada daun tua, memperlihatkan gejala klorosis pada tulang-tulang daun dan akhirnya menjadi kuning dan lemah.

Kalsium (Ca). Unsur ini banyak terdapat pada daun dan batang, tetapi kurang pada biji. Unsur ini berguna mengatur permeablitas dinding sel. Kalau ion K mempertinggi permeabilitas dinding sel, maka

ion Ca sebaliknya. Hal ini mencegah terlalu banyaknya pengisapan air agar struktur koloid sitoplasma tidak menjadi rusak. Defisiensi Ca terjadi pada daun muda, terlihat gejala klorosis pada ujung dan tepi daun, kemudian ke tulang daun dan pucuk. Selain itu kuncupnya akan mati, dan perakaran kurang sekali.

Ferum atau besi (Fe). Unsur ini merupakan katalisator pada pembentukan hijau daun. Selain itu berfungsi untuk pembentukan enzim-enzim pernapasan yang mengoksidasikan karbohidrat menjadi CO_2 dan H_2 O. Defisiensi Fe pada tanaman muda memperlihatkan klorosis diantara tulang-tulang daun dari daun muda dan kemudian menjadi kuning.

Mangan (Mn). Unsur ini penting untuk pembentukan hijau daun dan enzim-enzim pernapasan. Defisiensinya menyebabkan daun muda mengalami klorosis di antara tulang-tulang daun, sedangkan tulang daunnya sendiri tidak.

Boron (B). Unsur ini berguna dalam pertumbuhan jaringan. Defisiensinya menyebabkan pertumbuhan meristem berkas pembuluh angkut terganggu. Kuncup dan pucuknya mati dan daun mengalami klorosis di tepinya.

Cuprum atau tembaga (Cu). Unsur ini penting dalam mereduksi nitrat. Defisiensinya mengakibatkan pertumbuhan terganggu dan bila terlalu banyak akan menjadi racun.

Zincum atau Seng (Zn). Unsur ini penting untuk mengaktifkan beberapa enzim dalam pembentukan asam indol asetat (hormon tumbuh tanaman). Defisiensi seng mengakibatkan salah tumbuh pada ujung akar yang akhirnya menghambat pertumbuhan.

3.1. Katabolisme (Respirasi)

Katabolisme adalah reaksi penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan enzim. Penguraian suatu senyawa dapat menghasilkan energi. Energi kimia yang terdapat dalam senyawa tidak dapat digunakan secara langsung oleh sel. Energi akan diubah terlebih dahulu menjadi *adenosin trifosfat* (ATP) yang dapat digunakan oleh sel sebagai sumber energi terpakai. Energi itu digunakan untuk melangsungkan reaksi-reaksi kimia, pertumbuhan, transportasi, reproduksi, dan merespons rangsangan.

Contoh katabolisme adalah proses pernafasan sel atau respirasi. Respirasi adalah proses penguraian bahan makanan yang menghasilkan energi. Respirasi dilakukan oleh semua sel penyusun

makhluk hidup, baik sel-sel tumbuhan, bakteri, protista, cendawan, maupun sel hewan dan manusia. Respirasi dilakukan baik siang maupun malam. Ditinjau dari bentuknya respirasi terbagi dua macam, yaitu respirasi eksternal (luar) dan internal (dalam). Respirasi eksternal meliputi proses pengambilan oksigen dan pengeluaran karbondioksida dan uap air antara makhluk hidup dengan lingkungannya, misalnya pada tumbuhan, hewan, dan manusia. Respirasi internal disebut juga pernafasan seluler karena pernafasan ini terjadi di dalam sel, yaitu di dalam sitoplasma dan mitokondria.

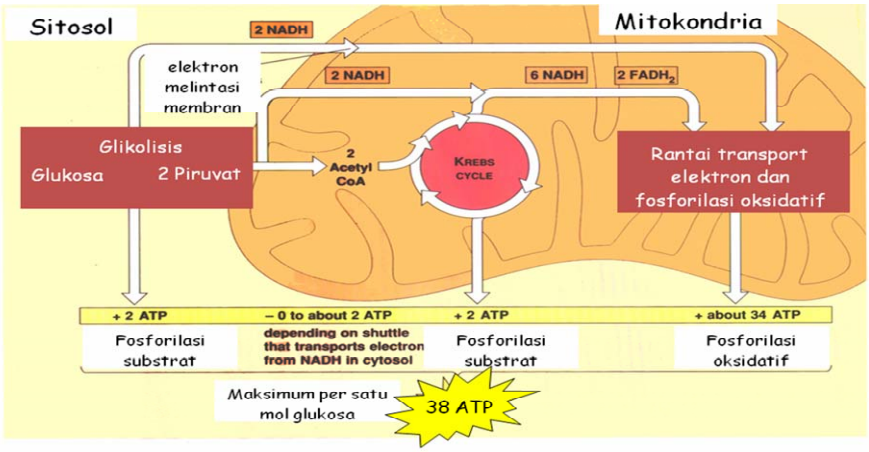
Berdasarkan kebutuhan akan oksigen, respirasi internal dibagi menjadi respirasi aerobik (memerlukan oksigen) dan respirasi anaerobik (tidak membutuhkan oksigen).

3.1.1. Respirasi Aerob

Respirasi aerob merupakan serangkaian reaksi enzimatis yang mengubah glukosa secara sempurna menjadi CO_2, H_2O, dan menghasilkan energi sebesar 38 ATP. Pada pernapasan ini, pembebasan energi menggunakan oksigen bebas dari udara. Pada tumbuhan, oksigen yang dibutuhkan diperoleh dari udara melalui mulut daun dan lentisel. Zat organik terutama karbohidrat dipecahkan. Dalam respirasi aerob, glukosa dioksidasi oleh oksigen, dan reaksi kimianya dapat digambarkan sebagai berikut:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ H_2O + 6\ O_2 \xrightarrow[\text{klorofil}]{\text{mthri}} 6\ CO_2 + 12\ H_2O + 675\ \text{kal}$$

Dalam kenyataan, reaksi yang terjadi tidak sesederhana itu. Banyak tahapan reaksi yang terjadi dari awal hingga terbentuknya energi. Reaksi-reaksi itu dapat dibedakan menjadi tiga tahapan, yaitu: glikolisis, siklus Krebs, dan transpor elektron (lihat Gambar3.1)



Gambar 3.1. Respirasi aerob (Campbell, 2006).

3.1.1.1. Glikolisis

Glikolisis adalah serangkaian reaksi enzimatis yang memecah glukosa (terdiri dari 6 atom C) menjadi asam piruvat (terdiri dari 3 atom C). Reaksi ini melepaskan energi untuk menghasilkan ATP dan $NADH_2$. Glikolisis terjadi di sitoplasma dan tidak memerlukan oksigen. Reaksinya adalah sebagai berikut:

$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow$ 2 asam piruvat + 2 ATP + 2 NADH + $2H^+$

Asam piruvat yang dihasilkan akan memasuki mitokondria untuk melakukan siklus Krebs. Namun sebelum memasuki siklus Krebs, asam piruvat (3C) ini diubah terlebih dahulu menjadi asetil koA (2C) di dalam matriks mitokondria melalui proses dekarboksilasi oksidatif. Senyawa selain glukosa, misalnya fruktosa, manosa, galaktosa, dan lemak dapat pula mengalami metabolisme melalui jalur glikolisis dengan bantuan enzim-enzim tertentu.

3.1.1.2. Siklus Krebs

Siklus Krebs merupakan serangkaian reaksi metabolisme yang mengubah asetil koA yang direaksikan dengan asam oksaloasetat (4C) menjadi asam sitrat (6C). Selanjutnya asam oksaloasetat memasuki daur menjadi berbagai macam zat yang akhirnya akan membentuk oksaloasetat lagi.

Pada siklus Krebs dihasilkan energi dalam bentuk ATP dan molekul pembawa hidrogen, yaitu : NADH dan $FADH_2$. Hidrogen yang terdapat dalam NADH dan $FADH_2$ tersebut akan dibawa ke sistem transpor elektron. Seluruh tahapan reaksi dalam siklus Krebs terjadi di dalam mitokondria. Dalam siklus ini, asetil koA dioksidasi secara sempurna menjadi CO_2

3.1.1.3. Transpor Elektron

Transpor elektron adalah serangkaian reaksi pemindahan elektron melalui proses reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Hidrogen yang terdapat pada molekul NADH serta $FADH_2$ ditranspor dalam serangkaian reaksi redoks yang melibatkan enzim, sitokrom, quinon, pirodoksin, dan flavoprotein. Pada akhir transport elektron, oksigen akan mengoksidasi elektron dan ion H menghasilkan air (H_20). Transport elektron terjadi pada membran dalam mitokondria.

3.1.2. Respirasi anaerob

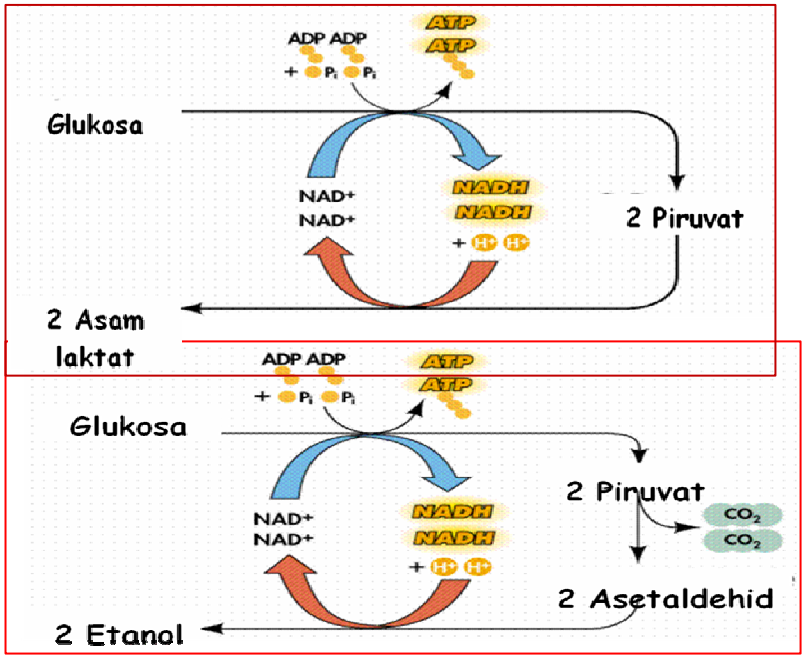
Pernahkah kalian membuat atau melihat cara membuat tape ? Tape dibuat dari singkong yang dikukus lalu ditaburi dengan ragi. Jika setelah diberi ragi singkong tersebut dibiarkan dalam udara terbuka maka kalian tidak mendapatkan tape yang diinginkan, mengapa demikian ?

Pembuatan tape merupakan salah satu contoh proses fermentasi yang menghasilkan alkohol. Fermentasi alkohol merupakan proses respirasi anaerob, yang tidak memerlukan oksigen. Oleh karena itu jika membuat tape, singkong yang telah ditaburi dengan ragi tersebut disimpan dalam ruang tertutup yang tidak atau sedikit mengandung udara. Misalnya setelah singkong beragi tersebut ditaruh dalam panci, kemudian panci tersebut dibungkus rapat dengan kain agar kondisinya menjadi anaerob.

Respirasi anaerob merupakan serangkaian reaksi enzimatis yang memecah glukosa secara tidak sempurna karena kekurangan oksigen. Pada manusia, respirasi anaerob menghasilkan asam laktat sehingga menyebabkan rasa lelah, sedangkan pada tumbuhan, ragi, reaksi ini menghasilkan CO_2 dan alkohol. Respirasi anaerob hanya menghasilkan sedikit energi, yaitu 2 ATP.

A

B



Gambar 3.2 Respirasi anaerob menghasilkan:asam laktat (A) atau etanol (B).

Respirasi anaerob, disebut fermentasi atau peragian. Pada umumnya respirasi ini terjadi pada tumbuhan, fungi dan bakteri. Proses fermentasi sering disebut sesuai dengan hasil akhir yang terbentuk. Misalnya: fermentasi alkohol bila hasil akhir fermentasi

berupa alkohol. Menurut hasil samping yang terbentuk, maka fermentasi dibedakan atas:

a. fermentasi alkohol pada ragi (khamir) dan bakteri anaerobik.
b. fermentasi asam laktat pada umumnya di sel otot.
c. fermentasi asam sitrat pada bakteri heterotrof.

Bahan baku respirasi anaerobik pada peragian adalah glukosa, disamping itu juga terdapat fruktosa, galaktosa, dan manosa. Hasil akhirnya adalah alkohol, karbon dioksida, dan energi. Alkohol bersifat racun bagi sel-sel ragi. Sel-sel ragi hanya tahan terhadap alkohol pada kadar 9-18%. Lebih tinggi dari kadar tersebut, proses alkoholisasi (pembuatan alkohol) terhenti. Hal tersebut merupakan suatu kendala pada industri pembuatan alkohol.

Oleh karena glukosa tidak terurai lengkap menjadi air dan karbon dioksida, maka energi yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan respirasi aerobik. Pada respirasi aerobik dihasilkan 675kal., sedangkan pada respirasi anaerobik hanya dihasilkan 21 kal. seperti reaksi dibawah ini:

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2 + 21\ kal$$

Dari persamaan reaksi tersebut terlihat bahwa oksigen tidak diperlukan. Bahkan, bakteri anaerobik seperti *Clostridium tetani* (penyebab tetanus) tidak dapat hidup jika berhubungan dengan udara bebas. Infeksi tetanus dapat terjadi jika luka dalam atau tertutup sehingga memberi kemungkinan bakteri *Clostridium* tersebut tumbuh subur karena dalam lingkungan anaerob.

3.2. Anabolisme (fotosintesis dan kemosintesis)

3.2.1. Fotosintesis

Lingkungan fisik menyediakan nutrien-nutrien anorganik. Semua zat anorganik yang diambil makhluk hidup akan dikembalikan lagi pada lingkungannya. Ada yang dikembalikan dalam bentuk ekskret yang dihasilkan oleh makhluk hidup waktu bereksresi, dan sisa-sisa makhluk hidup akan diuraikan (*dekomposisi* = *demineralisasi*) oleh makhluk pengurai (dekomposer) seperti cendawan dan bakteri kembali menjadi zat-zat anorganik.

Fotosintesis adalah peristiwa penyusunan zat organik (gula) dari zat anorganik (air, karbon dioksida) dengan pertolongan energi cahaya. Fotosintesis dilakukan oleh tumbuhan dan makhluk hidup yang mempunyai klorofil. Komponen-komponen yang diperlukan dalam fotosintesis adalah: CO_2, H_2O, cahaya dan klorofil. Karbon dioksida diambil dari udara, H_2O diambil dari tanah. Peranan klorofil

dalam fotosintesis adalah untuk menyerap cahaya dan sumber elektron. Cahaya yang paling efektif digunakan untuk mendapatkan hasil fotosintesis yang maksimum adalah cahaya merah dan biru.

Proses pembentukan karbohidrat ini berlangsung secara bertingkat. Zat yang stabil yang mula-mula terbentuk adalah gula sederhana. Kelebihan molekul-molekul gula sederhana akan disimpan dalam bentuk zat tepung (pati). melalui proses biosintesis dengan melepaskan nH_2O. Untuk pembentukan 1 gram gula ternyata sama dengan jumlah energi yang diperlukan dalam pembakaran 1 gram gula yaitu 675 kilo kalori. Inilah jumlah energi yang diperlukan dalam fotosintesis.

Menurut percobaan setiap 1 m^2 luas daun/jam dapat menyerap ± 200 kilo kalori, sementara di dalam daun dapat terbentuk 1-2 gram gula. Jadi dapat dihitung bahwa energi yang jatuh pada daun hanya 2% yang digunakan untuk fotosintesis. Hasil lain fotosintesis, O_2 dibebaskan ke udara dan ini berasal dari H_2O. Ini dapat diketahui berdasarkan uji menggunakan isotop oksigen yang dilakukan oleh Ruben dan Van Niel. Bagian tubuh tumbuhan yang melakukan asimilasi C (karbon) adalah bagian yang mengandung zat hijau daun. Secara singkat, persamaan reaksi fotosintesis yang terjadi di alam dituliskan sebagai berikut:

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{klorofil}]{\text{cahaya matahari}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

Percobaan tentang Fotosintesis

Fotosintesis merupakan suatu proses yang penting bagi kehidupan makhluk hidup di bumi. Dengan fotosintesis, tumbuhan menyediakan makanan bagi makhluk hidup lain baik secara langsung maupun tidak langsung. Banyak ilmuwan yang melakukan penelitian tetang fotosintesis, diantaranya adalah:

3.2.1.1 Ingenhousz

Orang yang peatama sekali menemukan fotosintesis adalah Jan Ingenhousz (1730-1799). Beliau memasukkan tumbuhan air *Hydrila verticilata* ke dalam bejana yang diisi air. Bejana gelas itu ditutup dengan corong terbalik dan diatasnya diberi tabung reaksi yang berisi air hingga penuh. Bejana itu diletakkan di terik matahari. Tak lama kemudian muncul gelembung udara dari tumbuhan air. Setelah diuji, ternyata gelembung tersebut adalah oksigen. Ingenhousz menyimpulkan fotosintesisis menghasilkan oksigen.

3.2.1.2. T W Engelman

Pada tahun 1822, T W Engelmann melakuakn percobaan menggunakan gangang *Spyrogyra*. Ganggang ini mempunyai

kloroplas seperti spiral. Hanya kloroplas yang terkena cahaya yang mengeluarkan oksigen. Kloroplas yang tidak kena cahaya tidak mengeluarkan oksigen. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya bakteri suka oksigen yang berkerumun di bagian kloroplas yang terkena cahaya. Kesimpulan akhirnya adalah:

a. Fotosintesis dilakukan oleh kloroplas
b. kloroplas hanya berfotosintesis jika terkena cahaya

3.2.1.3. Sachs

Pada tahun 1860, Sachs membuktikan bahwa proses fotosintesis menghasilkan amilum. Daun yang sebagian dibungkus kertas timah (kertas bungkus rokok) dipetik di sore hari, setelah terkena matahari sejak pagi hari, daun tersebut direbus untuk dimatikan sel-selnya. Selanjutnya daun tersebut dimasukkan ke dalam alkohol, agar klorofilnya larut sehingga daun tersebut menjadi pucat. Saat daun itu ditetesi dengan iodium, bagian yang tertutup oleh ketas timah tetap pucat, sedangkan bagian daun yang tidak tertutup warnanya menjadi biru kehitaman. Warna biru kehitaman menandakan bahwa di bagian daun tersebut *terdapat amilum.*

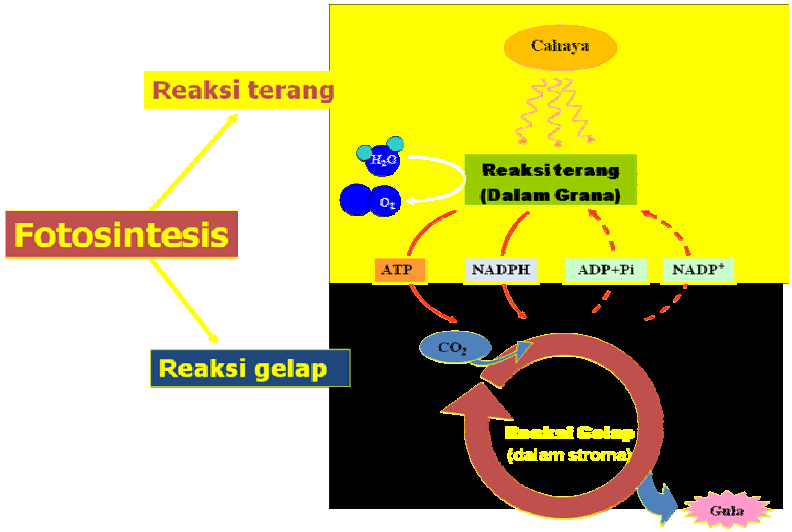
3.2.1.4 Hill dan FF Blackman

Hill pada tahun 1937 berhasil membuktikan bahwa energi sinar yang diterima digunakan untuk memecah molekul air menjadi H^+ dan O_2. Peristiwa ini dikenal sebagai *fotolisis* yang merupakan tahap awal dari fotosintesis. Fotolisis berlangsung dengan bantuan cahaya matahari sehingga disebut reaksi terang (lihat Gambar 3.3)

Pada reaksi terang, molekul air (H_2O) terurai menjadi molekul oksigen (O_2), proton (H^+) dan elektron. Elektron tersebut akan mengalami transport elektron melalui reaksi redoks. Pada akhir transport elektron elektron tersebut bersama dengan H^+ akan ditangkap oleh $NADP^+$ sehingga terbentuk NADPH. Selain NADPH, reaksi terang juga menghasilkan ATP.

Persamaan reaksi terang adalah sebagai berikut:

$$12\ H_2O + ATP + 24\ NADP^+ \longrightarrow 6\ O_2 + ATP + 24\ NADPH$$



Gambar 3.3. Fotosintesis: Reaksi terang & Reaksi gelap.

Reaksi terang terjadi pada membran tilakoid di grana. Grana berupa tumpukan tilakoid, terdapat di dalam kloroplas,. Tilakoid adalah membran pipih berbentuk cakram yang membrannya mengandung klorofil, pigmen fotosntesis.

Blackman mengemukakan adanya *reaksi gelap yang terjadi di stroma*, merupakan matriks kloroplas tak berwarna yang mengandung grana. Reaksi gelap tidak memerlukan cahaya. Dalam reaksi gelap, ATP dan NADPH yang terbentuk pada reaksi terang digunakan untuk pembentukan glukosa dari karbon dioksida (lihat Gambar 3.2). Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut:

$$6\ O_2 + ATP + NADPH \longrightarrow (CH_2O)_6 + 6\ H_2O$$

Jika reaksi terang dan reaksi gelap tersebut digabungkan akan menghasilkan persamaan reaksi sebagai berikut:

$$6\ O_2 + 12\ H_2O + \text{energi} \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ H_2O + 6\ O_2$$

Jadi, reaksi gelap hanya berlangsung jika tersedia energi kimia (ATP dan NADPH) serta proton (H^+) yang dihasilkan oleh reaksi terang. Tanpa didahului reaksi terang, reaksi gelap tidak akan berlangsung.

Proses pembentukan karbohidrat terutama glukosa dilakukan melalui beberapa langkah. Di dalam stroma terdapat senyawa ribulosa bifosfat, suatu senyawa dengan 5 atom C. ribulosa bifosfat mengikat CO_2 sehingga terbentuk senyawa 6C, tetapi tidak stabil

sehingga terpecah menjadi 2 molekul masing-masing dengan 3 atom (asam fosfogliserat). Asam fosfogliserat diubah nenjadi gliseraldehid. Gliseraldehid mengikat fosfat membentuk gliseraldehid 3 fosfat, yang kemudian diubah menjadi dihidroksi aseton fosfat. Senyawa ini berikatan dengan gliseraldehid 3 fosfat membentuk fruktosa 1.6 difosfat, kemudian akhirnya akan membentuk glukosa. Sebagian dari gula triosa fosfat diubah kembali menjadi ribulose difosfat sehingga membentuk siklus yang dinamakan siklus Calvin (untuk menghargai penemunya, yaitu Melvin Calvin)

3.2.2. Kemosintesis

Cahaya digunakan sebagai sumber energi untuk memecah molekul air. Elektron yang dihasilkan digunakan dalam proses transport elektron yang menghasilkan NADPH dan ATP. Senyawa NADH dan ATP ini digunakan untuk sintesis gula (selanjutnya diubah menjadi amilum) yang akan digunakan sebagai cadangan makanan oleh tumbuhan. Jadi, energi cahaya diubah menjadi energi yang tersimpan dalam bentuk ikatan kimia.

Sumber energi tidak hanya cahaya. Beberapa mikroorganisme ada yang dapat memperoleh energi dengan jalan mengoksidasi senyawa kimia. Misalnya bakteri belerang (*Begiota*, *Thiotrix*), bakteri nitrit (*Nitrosomonas)*, bakteri nitrat (*Nitrosobacter*), dan bakteri besi (*Cladotrix*).

Bakteri belerang mengoksidasikan H_2S untuk memperoleh energi. Selanjutnya energi yang diperoleh digunakan untuk melakukan asimilasi C. Proses penyusunan bahan organik itu menggunakan energi pemecahan senyawa kimia, maka disebut **kemosintesis.** Perhatikan reaksinya:

$$2H_2S + O_2 \longrightarrow 2\,H_2O + 2\,S + \text{energi}$$

Energi yang diperoleh lebih kecil jumlahnya daripada yang dihasilkan dari cahaya. Energi tersebut digunakan untuk fiksasi CO_2 menjadi karbohidrat. Dengan demikian, reaksi selengkapnya adalah:

$$CO_2 + 2\,H_2S \longrightarrow CH_2O + 2S + H_2O$$

Bakteri besi memperoleh energi kimia dengan cara mengoksidasi Fe_2^+ menjadi Fe_3^+. Bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrosococcus* mengoksidasi NH_4^+ untuk memperoleh energi dengan reaksi berikut ini:

$$(NH_4)_2\,CO_3 + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,HNO_2 + CO_2 + 3H_2O + \text{Energi}$$

Demikian pula bakteri *Nitrobacter* melakukan kemosintesis untuk menghasilkan energi dengan reaksi sebagai berikut:

$$Ca(NO_2)_2 + O_2 \longrightarrow Ca(NO_3)_2 + \text{Energi}$$

Bakteri di atas dapat melakukan asimilasi C. Kemampuan ini dapat dibuktikan dengan memelihara bakteri tersebut dan memberikan zat-zat anorganik saja, ternyata bakteri tersebut dapat hidup dan berkembang. Apakah CO_2 di alam akan habis karena dipakai tumbuhan untuk asimilasi C? Tentu saja jawabannya tidak. CO_2 yang terpakai untuk asimilasi tumbuhan dan makhluk hidup fotosintetik lainnya diganti dengan CO_2 dari pernapasan semua makhluk hidup, hasil pembakaran bahan-bahan organik, kegiatan gunung api, dan aktivitas makhluk hidup lainnya.

Proses anabolisme dan katabolisme terjadi silih berganti. Reaksi–reaksi kimia yang terjadi dalam dunia kehidupan, melibatkan lingkungan fisik di sekitarnya sehingga terjadi daur materi seperti: daur nitrogen, daur karbon dan oksigen, daur air, daur belerang dan daur fosfor.

Daur nitrogen

Nitrogen atau zat lemas merupakan unsur yang diperlukan oleh setiap makhluk hidup. Nitrogen tidak diperlukan dalam bentuk unsur, melainkan dalam bentuk persenyawaan. Atmosfer bumi mengandung 79% gas nitrogen. Gas ini sulit bereaksi dan karenanya tidak dapat dimanfaatkan secara langsung oleh makhluk hidup.

Apa fungsi nitrogen bagi tubuh makhluk hidup? Nitrogen merupakan salah satu pembentuk asam amino. Asam amino merupakan persenyawaan pembentuk protein. Protein merupakan senyawa yang berguna sebagai penyusun tubuh, misalnya otot, daging, dan sebagai penggiat reaksi-reaksi metabolisme tubuh, misalnya enzim pencernaan untuk mencernakan makanan.

Karena petir, nitrogen di atmosfer bersenyawa dengan oksigen membentuk nitrat (NO_3). Tumbuhan menyerap nitrat dari tanah untuk dijadikan protein. Ketika tumbuhan dimakan konsumer, nitrogen berpindah ke tubuh hewan. Urin, bangkai hewan, dan tumbuhan yang mati akan diuraikan oleh makhluk hidup pengurai menjadi amonium dan amoniak. Bakteri nitrit *Nitrosomonas* mengubah amonium menjadi nitrit. Selanjutnya bakteri nitrat *Nitrosobacter* akan mengubah nitrit menjadi nitrat. Peristiwa pengubahan amonium menjadi nitrit dan nitrat disebut sebagai **nitrifikasi**. Nitrat akan diserap lagi oleh tumbuhan.

Ada pula bakteri yang mampu mengubah nitrat atau nitrit menjadi nitrogen bebas di udara. Proses ini disebut sebagai *denitrifikasi.*

Pada umumnya makhluk hidup tidak mampu memanfaatkan nitrogen secara langsung dari udara. Akan tetapi ada pula yang dapat memanfaatkannya. Contohnya bakteri *Rhizobium* yang bersimbiosis dengan kacang-kacangan (kelompok Leguminosae) membentuk bintil akar dan mampu mengikat nitrogen dari udara. Bakteri tersebut sangat menguntungkan para petani, karena dapat menyediakan nitrogen bagi tumbuhan inangnya dan juga dapat menyuburkan tanah. Tanah yang kekurangan bakteri *Rhizobium* dapat ditaburi dengan **legin**, yaitu biakan bakteri pengikat nitrogen yang saat ini sudah banyak dijualbelikan. Jika tanah tersebut pernah ditanami tanaman kacang-kacangan berarti tanah tersebut sudah mengandung *Rhizobium.* Bila kalian menanam kedelai, tidak perlu memupuk (ZA, urea) dalam jumlah banyak, karena sebagian dari N tersebut akan dipenuhi oleh *Rhizobium* yang ada dalam bintil akar.

Daur karbon dan oksigen

Unsur C (karbon) diserap tumbuhan dalam bentuk CO_2. Tumbuhan tidak dapat menyerapnya dalam bentuk gula atau zat tepung. Sebaliknya, hewan hanya dapat memanfaatkan karbon dalam bentuk persenyawaan organik. Unsur C dan O selalu terlibat dalam proses respirasi dan fotosintesis, yaitu dalam bentuk CO_2 dan O_2. Oleh karena itu, membahas daur karbon pada dasarnya juga melibatkan pembahasan daur oksigen.

Daur karbon ini diawali oleh penyerapan CO_2 oleh tumbuhan, dan dijadikan persenyawaan organik, seperti glukosa, melalui proses fotosintesis. Selanjutnya, glukosa disusun menjadi amilum, kemudian amilum diubah menjadi senyawa organik lainnya seperti, lemak, protein, dan vitamin. Pada proses pernafasan tumbuhan, dihasilkan lagi CO_2. Dengan demikian, daur karbon terpendek terjadi pada tumbuhan-lingkungan-tumbuhan. Demikian pula daur oksigen.

Hewan mendapatkan karbon setelah memakan tumbuhan baik secara langsung maupun tak langsung. Tubuh hewan dan tumbuhan yang mati diuraikan menjadi karbon dioksida, air, dan mineral oleh makhluk hidup pengurai. Karbon dioksida yang terbentuk dilepaskan ke udara. Demikian seterusnya daur karbon ini berlangsung. Daur karbon ini merupakan daur karbon terpanjang yang berlangsung melalui tumbuhan-hewan-pengurai-karbon dioksida di udara-tumbuhan.

Dalam ekosistem normal, terjadi keseimbangan antara daur karbon dan oksigen. Oksigen diserap hewan dan tumbuhan untuk

respirasi dan hasilnya berupa karbon dioksida akan dilepaskan ke udara. Karbon dioksida ini digunakan oleh tumbuhan untuk fotosintesis.

Daur air

Air sangat penting artinya bagi makhluk hidup karena air berfungsi sebagi pelarut kation dan anion, pengatur suhu tubuh, pengatur tekanan osmotik sel, dan bahan baku untuk fotosintesis. Bagi manusia, air bermanfaat untuk minum, mandi, mencuci, irigasi, pariwisata, dan pembangkit tenaga listrik. Di alam terjadi daur air yang dapat diuraikan sebagai berikut.

Air laut, danau, dan sungai yang terkena cahaya matahari akan menguap. Tumbuhan dan hewan juga mengeluarkan uap air. Uap air akan membumbung ke atmosfer dan berkumpul membentuk awan. Karen tiupan angin, awan akan bergerak menuju ke permukaan daratan. Pengaruh suhu yang rendah mengakibatkan terjadinya kondensasi uap air menjadi titik-titik air hujan. Air hujan yang turun di permukaan, sebagian meresap kedalam tanah, sebagian dimanfaatkan tumbuhan dan hewan, sebagian yang lain mengalir di permukaan tanah menjadi sungai-sungai, dan sebagian lagi menguap menjadi uap air yang akan turun kembali bersama air hujan.

Air yang meresap kedalam tanah bergerak menuju tempat-tempat yang rendah karena gravitasi bumi. Pada tempat tertentu muncul sebagai mata air yang akan mengalir sebagai sungai. Di sungai, air dimanfaatkan lagi oleh biota sungai. Sungai yang menampung air, baik dari air tanah, air hujan, maupun kelebihan air telah dimanfaatkan manusia akhirnya mengalir menuju laut.

Indonesia merupakan negara di daerah khatulistiwa memilki daur air alami. Secara kuantitatif Indonesia seharusnya tidak kekurangan air. Akan tetapi, karena gangguan terhadap daur air alami, misalnya akibat penebangan hutan secara liar, proses peresapan air terganggu sehingga timbul banjir. Demikian juga, kuantitas air tidak terdistribusi sebagaimana mestinya. Akibatnya, pada musim hujan terjadi banjir, sedangkan pada musim kemarau terjadi kekeringan. Selain ini, air bersih menjadi semakin langka karena pencemaran.

Daur belerang

Belerang (sulfur) merupakan unsur penyusun protein. Tumbuhan mendapatkan belerang dari dalam tanah dalam bentuk sulfat (SO_4^{2-}). Di dalam tubuh tumbuhan, belerang digunakan sebagai penyusun protein. Hewan dan manusia mendapatkan belerang dengan jalan memakan tumbuhan. Jika tumbuhan dan hewan mati,

mikroorganisme akan menguraikannya menjadi gas berbau busuk yaitu H_2S atau menjadi SO_2 dan SO_4^{2-}.

Secara alami, belerang terkandung di dalam tanah dalam bnetuk mineral tanah. Beberapa gunung berapi, misalnya Gunung Arjuno di Jawa Timur, mengeluarkan belerang yang kemudian ditambang menjadi belerang batangan. Gas belerang dihembuskan ke udara. Selain itu, belerang di udara juga berasal dari sisa pembakaran minyak bumi dan batubara, dalam bentuk SO_2. Gas demikian banyak dihasilkan oleh asap kenderaan dan pabrik. Karena uap air hujan, gas tersebut berubah menjadi sulfat, yang jatuh di tanah, sungai, atau lautan. Selanjutnya sulfat dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan atau ganggang.

Daur fosfor

Fosfor merupakan bahan pembentuk tulang pada hewan. Semua makhluk hidup memerlukan fosfor karena digunakan sebagai pembentuk DNA, RNA, protein, energi (ATP), dan senyawa organik lainnya. Daur fosfor terjadi melalui proses berikut.

Di dalam tanah, terkandung fosfat anorganik yang dapat diserap tumbuhan. Hewan mendapatkan fosfor setelah memakan tumbuhan. Tumbuhan dan hewan yang mati, feses, dan urinnya akan terurai menghasilkan fosfat organik. Oleh bakteri, fosfat organik akan di ubah menjadi fosfat anorganik yang dapat diserap tumbuhan.

Di dalam ekosistem air, juga terjadi daur fosfor, yakni tumbuhan hewan air → bakteri → fosfat anorganik. Bagian tumbuhan yang jatuh ke dasar danau yang dalam atau lautan dalam akan membentuk endapan fosfor (batuan fosfor) yang tiak dapat dimanfaatkan kembali. Inilah salah satu alasan semakin kecilnya ekosistem air dalam yang tidak mempunyai arus air. Lautan yang memiliki arus air mengakibatkan endapan fosfor teraduk dan menyuburkan ekosistem laut. Pada tempat-tempat tertentu terjadi penimbunan fosfor karena pemupukan kotoran burung. Kotoran burung ini dijadikan sebagai pupuk organo.

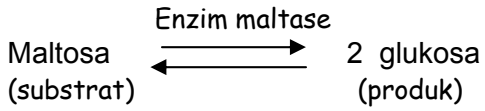
Daur materi sangat penting artinya bagi kelestarian makhluk hidup dan ekosistem. Ini berarti kelestarian ekosistem akan terancam jika daur materi itu terganggu. Suatu contoh, di dalam ekosistem hutan, semua predator mati. Karena tidak ada pemangsa, daur materi terhenti. Makanan tertimbun di dalam tubuh herbivor yang kemudian digunakan untuk berkembang biak tanpa kendali. Akibatnya, bahan makanan berkurang dan terjadilah kompetisi dalam memperebutkan makanan. Apa yang terjadi kemudian, sangat sulit untuk diramalkan.

3.3. Enzim dan peranannya

Reaksi-reaksi yang berlangsung di dalam tubuh makhluk hidup bekerja secara optimal pada suhu 30°C (suhu ruang), misalnya pada suhu tubuh tumbuhan. Sedangkan di dalam tubuh hewan homoitermis berlangsung pada suhu 37°C. Pada suhu tersebut proses oksidasi akan berjalan lambat. Agar reaksi-reaksi berjalan lebih cepat diperlukan katalisator.

Katalisator adalah *zat yang dapat mempercepat reaksi tetapi zat tersebut tidak ikut bereaksi.* Dalam sel makhluk hidup, reaksi- reaksi kimia dapat berlangsung dengan cepat karena adanya katalisator hidup atau biokatalisator, yaitu : enzim.

Enzim merupakan pengatur suatu reaksi. Berikut ini adalah contoh reaksi yang diatur oleh enzim. Contohnya:



Bahan tempat enzim bekerja disebut substrat. Dalam contoh reaksi di atas substratnya adalah maltosa. Bahan baru atau materi yang dibentuk sebagai hasil reaksi disebut produk. Dalam contoh reaksi di atas hanya ada 1 produk yaitu glukosa. Enzim yang mengkatalisis adalah maltase.

Reaksi tersebut dapat berlangsung ke arah sebaliknya. Dengan kata lain reaksinya dua arah (*reversible*), maltosa dapat berubah menjadi glukosa dan glukosa dapat berubah menjadi maltosa. Enzim yang bekerja di kedua reaksi adalah maltase. Jika terdapat maltosa lebih banyak daripada glukosa, reaksi berlangsung dari kiri ke kanan. Sebaliknya, jika glukosa terdapat lebih banyak daripada maltosa, maka reaksi berlangsung dari kanan ke kiri.

3.3.1. Susunan enzim

Secara kimia, enzim yang lengkap (holoenzim) tersusun atas dua bagian, yaitu bagian protein dan bagian yang bukan protein. Bagian protein disebut apoenzim, bersifat labil (mudah berubah), misalnya terpengaruh oleh suhu dan keasaman. Bagian yang bukan protein disebut gugus prostetik (aktif), terdiri atas kofaktor atau koenzim. Kofaktor berasal dari molekul anorganik, yaitu logam, misalnya besi, tembaga, dan seng. Sedangkan koenzim merupakan gugus prostetik terdiri atas senyawa organik kompleks, misalnya NADH, FADH, koenzim A, dan vitamin B.

3.3.2. Ciri-ciri enzim

Enzim merupakan suatu protein yang bekerja secara khusus, dapat digunakan berulangkali, rusak oleh panas tinggi, terpengaruh oleh pH, diperlukan dalam jumlah sedikit, dan dapat bekerja secara bolak-balik.

3.3.2.1. Protein

Sebagian besar enzim (kecuali ribozime), adalah protein. Dengan demikian sifat-sifat yang dimilikinya sama dengan sifat sifat protein, yaitu: menggumpal pada suhu tinggi dan terpengaruh oleh pH

3.3.2.2. Bekerja secara khusus

Enzim tertentu hanya dapat mempengaruhi reaksi tertentu, dan tidak dapat mempengaruhi reaksi lainnya. Sebagai contoh: di dalam usus rayap terdapat protozoa yang menghasilkan enzim selulase sehingga rayap dapat hidup dengan makan kayu karena dapt mencerna selulosa (salah satu jenis karbohidrat/polisakarida). Sebaliknya manusia tidak dapat mencerna kayu, meskipun mempunyai enzim amilase, yaitu enzim yang dapat mencerna amilum/pati (yang juga merupakan jenis polisakarida). Enzim amilase dan selulase masing-masing bekerja secara khusus.

3.3.2.3. Dapat digunakan berulang kali

Enzim dapat digunakan berulang kali karena enzim tidak berubah pada saat terjadi reaksi. Meskipun dalam jumlah sedikit, adanya enzim dalam suatu reaksi yang dikatalisirnya akan mempercepat reaksi, karena enzim yang telah bekerja dalam reaksi tersebut dapat digunakan kembali.

3.3.2.4. Rusak oleh panas

Enzim adalah suatu protein yang dapat rusak oleh panas disebut *denaturasi*. Kebanyakan enzim rusak pada suhu di atas 50°C. Reaksi kimia akan meningkat dua kali lipat dengan kenaikan suhu sebesar 10^{o}C. Kenaikan suhu di atas suhu 50°C tidak dapat meningkatkan reaksi yang dikatalisir oleh enzim, tetapi justru menurunkan atau menghentikan reaksi tersebut. Hal ini disebabkan enzimnya rusak sehingga enzim tersebut tidak dapat bekerja. Demikian juga apabila kita memesan enzim-enzim dari luar negeri, biasanya dikirim dalam pengepakan khusus dalam es kering agar tidak rusak dalam perjalanan, dan enzim tersebut disimpan dalam lemari es. Suhu rendah tidak merusak enzim tetapi hanya menonaktifkannya saja.

3.3.2.5. Diperlukan dalam jumlah sedikit

Oleh karena enzim berfungsi sebagai mempercepat reaksi, tetapi tidak ikut bereaksi, maka jumlah yang dipakai sebagai katalis tidak perlu banyak. Satu molekul enzim dapat bekerja berkali-kali, selama molekul tersebut tidak rusak.

3.3.2.6. Dapat bekerja bolak-balik

Umumnya enzim dapat bekerja secara bolak-balik. Artinya, suatu enzim dapat bekerja menguraikan suatu senyawa menjadi senyawa-senyawa lain, dan sebaliknya dapat pula bekerja menyusun senyawa-senyawa itu menjadi senyawa semula. Pada tumbuhan, proses fotosintesis menghasilkan glukosa. Apabila glukosa yang dihasilkan dalam jumlah banyak, maka glukosa tersebut diubah dan disimpan dalam bentuk pati. Pada saat diperlukan, misalnya untuk pertumbuhan, pati yang disimpan sebagai cadangan makanan tersebut diubah kembali menjadi glukosa.

3.3.2.7. Kerja enzim dipengaruhi lingkungan

Lingkungan yang berpengaruh pada kerja enzim adalah suhu, pH, hasil akhir, dan zat penghambat.

3.3.2.7.1 Suhu

Enzim bekerja optimal pada suhu 30°C atau pada suhu tubuh dan akan rusak pada suhu tinggi. Biasanya enzim bersifat nonaktif pada suhu rendah (0°C atau di bawahnya), tetapi tidak rusak. Jika suhunya kembali normal enzim mampu bekerja kembali. Sementara pada suhu tinggi, enzim rusak dan tidak dapat berfungsi kembali.

3.3.2.7.2. pH

Enzim bekerja optimal pada pH tertentu, umumnya pada pH netral. Pada kondisi asam atau basa, kerja enzim terhambat. Agar enzim dapat bekerja secara maksimal, pada penelitian/percobaan yang menggunakan enzim, kondisi pH larutan dijaga agar tidak berubah, yaitu dengan menggunakan larutan penyangga (*buffer*)

3.3.2.7.3. Hasil akhir

Kerja enzim dipengaruhi hasil akhir. Hasil akhir yang menumpuk menyebabkan enzim sulit “bertemu’ dengan substrat. Semakin menumpuk hasil akhir, semakin lambat kerja enzim.

3.3.2.7.4. Zat penghambat

Zat yang dapat menghambat kerja enzim disebut zat penghambat atau *inhibitor*. Zat tersebut memiliki struktur seperti enzim yang dapat masuk ke substrat, atau ada yang memiliki

struktur seperti substrat sehingga enzim salah masuk ke penghambat tersebut. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut: semisal enzim itu anak kunci, terdapat zat penghambat (inhibitor) yang:

- strukturnya mirip anak kunci (enzim), sehingga zat penghambat itu dapat masuk ke dalam gembok kunci (substrat).
- bentuknya mirip gembok kunci (substrat), sehingga enzim sebagai anak kunci "keliru masuk " ke anak kunci palsu.

3.3.3. Penamaan enzim

Enzim diberi nama sesuai dengan substratnya, diberikan akhiran *ase*.

a. Enzim selulase*,* adalah enzim yang dapat menguraikan selulosa.
b. Enzim lipase*,* menguraikan lipid atau lemak.
c. Enzim protease, menguraikan protein.
d. Enzim karbohidrase, menguraikan karbohidrat.

Karbohidrase merupakan suatu kelompok enzim. Termasuk di dalamnya *amilase*, menguraikan amilum menjadi maltosa dan *maltase*, menguraikan maltosa menjadi glukosa.

Ada dua cara penamaan enzim, yaitu secara sistematis (berdasarkan atas reaksi yang terjadi) dan trivial (nama singkat). Contohnya:

ATP+ glukosa ⟶ ADP+Glukosa 6-Fosfat

Nama sistematik: ATP: Glukosa 6-Fosfat

Nama trivial : Heksokinase

Dengan berkembangnya ilmu genetika dan dilakukannya berbagai percobaan di bidang ini, dapat dibuktikan bahwa pembentukan enzim atau kelompok enzim diatur oleh gen atau kelompok gen dalam kromosom. **George Beadle** dan **Edward Tatum** mendapat hadiah novel pada tahun 1958 atas jasa mereka menemukan gen pengendali sintesis protein dan enzim yang disimpulkan dalam suatu teori "*one gene, one enzyme".*

3.3.4. Cara kerja enzim

Molekul selalu bergerak dan bertumbukan satu sama lain. Jika suatu molekul substrat menumbuk molekul enzim yang tepat, maka akan menempel pada enzim.Tempat menempelnya molekul substrat pada enzim disebut sisi aktif. Kemudian terjadi reaksi dan terbentuk molekul produk. Ada 2 teori mengenai kerja enzim, yaitu:

a. Teori gembok anak kunci (*key-lock*)
   Sisi aktif enzim mempunyai bentuk tertentu yang hanya sesuai untuk satu jenis substrat saja Gambar 3.4 A) Substrat sesuai dengan sisi aktif seperti gembok kunci dengan anak kuncinya. Hal itu menyebabkan enzim bekerja secara spesifik. Jika enzim mengalami denaturasi (rusak) karena panas, bentuk sisi aktif berubah sehingga substrat tidak sesuai lagi. Perubahan pH juga mempunyai pengaruh yang sama.

b. Teori cocok terinduksi (*induced fit*).
   Sisi aktif enzim lebih fleksibel dalam menyesuaikan struktur substrat. Ikatan antara enzim dan substrat dapat berubah menyesuaikan dengan substrat.

3.3.5. Inhibitor

Merupakan zat yang dapat menghambat kerja enzim. Bersifat *reversible* dan *irreversible*. Inhibitor reversible dibedakan menjadi inhibitor kompetitif dan nonkompetitif (Gambar 3.4B)

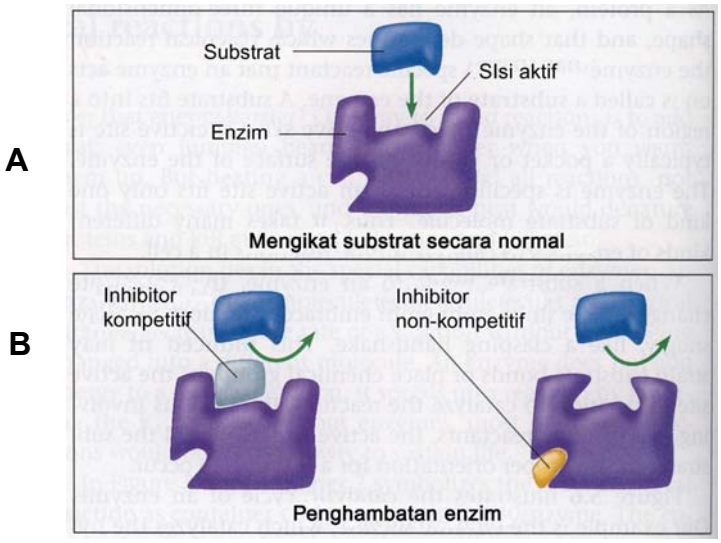
a. Inhibitor kompetitif

Menghambat kerja enzim dengan menempati sisi aktif enzim. Inhibitor ini besaing dengan substrat untuk berikatan dengan sisi aktif enzim. Pengambatan bersifat reversibel (dapat kembali seperti semula) dan dapat dihilangkan dengan menambah konsentrasi substrat.

Inhibitor kompetitif misalnya malonat dan oksalosuksinat, yang bersaing dengan substrat untuk berikatan dengan enzim suksinat dehidrogenase, yaitu enzim yang bekerja pada substrat oseli suksinat.

b. Inhibitor nonkompetitif

Inhibitor ini biasanya berupa senyawa kimia yang tidak mirip dengan substrat dan berikatan pada sisi selain sisi aktif enzim. Ikatan ini menyebabkan perubahan bentuk enzim sehingga sisi aktif enzim tidak sesuai lagi dengan substratnya. Contohnya antibiotik penisilin menghambat kerja enzim penyusun dinding sel bakteri. Inhibitor ini bersifat reversible tetapi tidak dapat dihilangkan dengan menambahkan konsentrasi substrat.



Gambar 3.4. A Kerja enzim seperti gembok-anak kunci
B. Inhibitor kompetitif dan non kompetitif
(Campbell, 2006)

c. Inhibitor irreversibel

Inhibitor ini berikatan dengan sisi aktif enzim secara kuat sehingga tidak dapat terlepas. Enzim menjadi tidak aktif dan tidak dapat kembali seperti semula (irreversible). Contohnya, diisopropilfluorofosfat yang menghambat kerja asetilkolin-esterase.

Rangkuman

Zat-zat yang masuk dalam tubuh makhluk hidup dapat dalam bentuk organik maupun anorganik. Pertukaran zat meliputi anabolisme (penyusunan senyawa-senyawa organik dari senyawa sederhana menjadi senyawa kompleks dengan menggunakan energi) dan katabolisme (penguraian senyawa-senyawa organik yang kompleks menjadi sederhana dengan menghasilkan energi yang digunakan oleh makhluk hidup untuk berbagai kegiatan).

Makhluk hidup memerlukan materi dan energi untuk pertumbuhannya. Berdasarkan cara mendapatkan materi dan energi, setiap makhluk hidup dibedakan menjadi 4 kelompok, yaitu: fotoautotrof, kemoautotrof, fotoheterotrof, dan kemoheterotrof. Makhluk hidup autotrof dapat mensintesis makanannya sendiri. Berdasarkan cara hidupnya, makhluk hidup heterotrof dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu: saprofit dan simbion (helotisme = parasitisme, mutualisme, dan komensalisme).

Zat-zat penyusun tubuh tumbuhan diperoleh dengan analisis kimia, kultur air, kultur pasir dan analisis abu yang menghasilkan unsur hara makro, unsur hara mikro dan unsur tambahan. Kekurangan unsur-unsur hara tersebut akan menyebabkan gejala-gejala klinis tanaman seperti tanaman menjadi kuning, kekeringan, layu sampai mengalami kematian.

Tumbuhan juga melakukan katabolisme (respirasi) dan anabolisme (fotosintesis dan kemosintesis). Katabolisme adalah reaksi penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan enzim. Berdasarkan kebutuhan akan oksigen, respirasi internal dibagi menjadi respirasi aerobik (memerlukan oksigen) dengan tiga tahap yaitu glikolisis, siklus Krebs, dan transpor elektron serta respirasi anaerobik (tidak membutuhkan oksigen) yang menghasilkan fermentasi alkohol, asam laktat, atau asam sitrat.

Fotosintesis adalah peristiwa penyusunan zat organik (gula) dari zat anorganik (air, karbon dioksida) dengan pertolongan energi cahaya. Beberapa ilmuwan yang melakukan penelitian tetang fotosintesis adalah Ingenhousz, T W Engelmann, Sachs, Hill dan Blackman dengan reaksi terang dan reaksi gelap.

Proses penyusunan bahan organik menggunakan energi pemecahan senyawa kimia, disebut kemosintesis. Kemosintesis dilakukan oleh mikroorganisme seperti bakteri belerang (*Begiota*, *Thiotrix*), bakteri nitrit (*Nitrosomonas)*, bakteri nitrat (*Nitrosobacter*), dan bakteri besi (*Cladotrix*).

Pada peristiwa anabolisme terjadi suatu siklus yang memperlihatkan hubungan antara lingkungan abiotik dengan dunia kehidupan, seperti: daur nitrogen, daur karbon dan oksigen, daur air, daur belerang dan daur fosfor.

Katalisator adalah zat yang dapat mempercepat reaksi tetapi zat tersebut tidak ikut bereaksi. Enzim merupakan biokatalisator yang mempercepat proses metabolisme pada tumbuhan dan hewan. Secara kimia, enzim yang lengkap (holoenzim) tersusun atas dua bagian, yaitu bagian protein dan bagian yang bukan protein.

Ciri-ciri enzim merupakan protein, bekerja secara khusus, dapat digunakan berulang kali, rusak oleh panas, diperlukan dalam jumlah sedikit, dapat bekerja bolak-balik, kerja enzim dipengaruhi lingkungan (suhu, pH, hasil akhir, dan zat penghambat).Penamaan enzim sesuai dengan substratnya, misalnya enzim selulose adalah enzim yang dapat menguraikan selulosa. George Beadle dan Edward Tatum

menemukan gen pengendali sintesis protein dan enzim yang dengan teori "*one gene, one enzyme".*

Cara kerja enzim seperti teori gembok dan anak kunci (*key-lock*) dan teori cocok terinduksi (*induced fit*). Zat yang dapat menghambat kerja enzim disebut i*nhibitor*, dibedakan dalam dua kelompok, yaitu: inhibitor kompetitif, inhibitor non kompetitif, dan inhibitor irreversibel.

Soal Latihan

A. Berilah tanda silang (x) pada huruf a, b, c, d, atau e untuk jawaban yang tepat!

1. Fermentasi alkohol yang dilakukan oleh *Saccharomyces* dalam larutan yang mengandung glukosa dapat dituliskan dalam persamaan reaksi ….
   a. $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow C_2H_5OH+CO_2$
   b. $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH+2CO_2+28kkal$
   c. $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH+2CO+O_2$
   d $C_6H_{12}O_6. \longrightarrow 2C_3H_4O_3+2H_2$
   e. $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow C_2H_5OH+2H_2O+2CO_2$

2. Perbedaan antara kemosintesis dan fotosintesis terletak pada ….
   a. macam unsur yang digunakan
   b. sumber energi yang dimanfaatkan
   c. macam makhluk hidup yang bekerja
   d. medium tempat hidup makhluk hidup
   e. zat hasil sintesisnya

3. Gejala klorosis pada tumbuhan dapat dihindarkan jika tanah tempat tumbuhnya diberi pupuk yang mengandung ….
   a. urea
   b. N, P, K
   c. Fe dan Mg
   d. Fosfat
   e. C, H, O

4. Pembuatan tape dari singkong dengan bantuan ragi merupakan proses ….
   a. respirasi
   b. hidrolisis
   a. fermentasi
   b. degradasi
   c. fosforilasi

5. Manakah yang merupakan peristiwa awal dari proses fotosintesis ….
   a. terurainya CO_2
   b. terurainya klorofil
   c. ionisasi CO_2
   d. teraktivasinya klorofil
   e. terurainya molekul H_2O

6. Fotosintesis pada tumbuhan berklorofil akan berlangsung jika terdapat ….
   a. cahaya, tanah, CO_2
   b. cahaya, air, O_2
   c. cahaya, tanah, O_2
   d. cahaya, air, CO_2
   e. cahaya, tanah, air

7. Dalam tanaman terkandung unsur-unsur makro dan mikro. Setelah diadakan analisis abu maka unsur-unsur yang ditemukan dalam jumlah sangat sedikit adalah ....
   a. Cu, Zn, Mo, S
   b. Zn, B, Mo, Ca
   c. Cl, Mo, B, Zn
   d. B, Mo, Cl, Mg
   e. Mo, Cl, Cu, Fe

8. Tumbuhan yang dapat hidup sebagai parasit dan sebagai saprofit disebut ….
   a. hiperparasit
   b. parasit obligat
   c. setengah saprofit
   d. parasit fakultatif
   e. mutualisme

9. Fungsi klorofil pada proses fotosintesis adalah…
   a. mentransfer energi matahari
   b. memfiksasi CO_2 menjadi glukosa
   c. merupakan donor elektron
   d. membentuk amilum dari glukosa
   e. peristiwa fotolisis

10. Enzim yang dapat mengubah pati menjadi maltosa disebut ....
   a. maltose
   b. amylase
   c. amilose
   d. protease
   e. selulase

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!

1. Sebutkan macam-macam asimilasi beserta contoh-contohnya!

2. Berdasarkan kebutuhan makanannya parasit dapat dibedakan menjadi tiga. Jelaskanlah!

3. Coba kalian jelaskan siklus nitrogen yang terjadi pada tumbuhan!
4. Sebutkan unsur-unsur pada tumbuhan ....
   a. makro b. mikro c. tambahan

5. Jelaskan proses analisis abu pada tumbuhan!

6. Sebutkan lima jenis enzim yang berperan bagi kehidupan manusia!

7. Salah satu sifat enzim seperti *key-chain and lock*. Apa maksudnya, jelaskanlah!

8. Daun tua terlihat gejala antara lain warna daun hijau tua, atau lebih tua daripada biasanya, tanaman kerdil, pembentukan buah jelek, merugikan hasil/biji termasuk ciri tumbuhan kekurangan unsur ...

9. Enzim merupakan biokatalisator. Mengapa demikian? Uraikanlah pendapat kalian!

10. Respirasi anaerob dapat membentuk tiga macam fermentasi. Jelaskan pendapat kalian!

BAB IV

HEREDITAS PADA MAKHLUK HIDUP

Melalui *persilangan resiprok* yaitu persilangan dengan asal gamet jantan dan betina dipertukarkan, telah diketahui bahwa gamet dari masing-masing induk (Parental =P) memberikan saham yang sama di dalam pewarisan sifat. Bagian dari gamet induk yang bertanggung jawab dalam pewarisan tersebut adalah gen yang terdapat dalam kromosom. Istilah *gen* sebagai bahan keturunan diperkenalkan oleh **W. Johanse**, sedangkan istilah *kromosom* diperkenalkan oleh **W. Waldayer**.

Standar Kompetensi

Menerapkan prinsip-prinsip genetik tumbuhan dan hewan

Kompetensi Dasar

4.1. Mengidentifikasi gen, kromosom, pembelahan mitosis dan meiosis.
4.2. Menerapkan Hukum Mendel dan penyimpangannya.
4.3. Mendeskripsikan mutasi dan faktor penyebabnya.
4.4. Mendeskripsikan peranan manusia dalam revolusi hijau dan revolusi biru.
4.5. Menerapkan dasar-dasar pemuliaan (penemuan bibit unggul).

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari *Hereditas Pada Tumbuhan dan Hewan*, Kalian diharapkan dapat memahami, menafsirkan, dan mengkomunikasikan pemahaman konsep hereditas, penerapan Hukum Mendel dan penyimpangannya serta dasar-dasar pemuliaan tumbuhan dan hewan.

Kata-Kata Kunci

Alel	Kromatin
Antikodon	Kromomer
Antisense	Kromosom
Autosom	Kromosom homolog
Breeding	Kromosom kelamin
Dihibrida	Letal
Diploid	Lokus

Dominan	Modifikasi
Double helix	Monohibrida
Ekson	Mutasi
Epistasis	Nukleosida
Fenotipe	Nukleotida
Genotipe	Pautan
Genom kromosom	Pindah silang
Haploid	Replikasi
Heterozigot	Seleksi
Hipostasis	Sense
Homozigot	Sistron
Intron	Template
Karier	Transkripsi
Kodon	Translasi
Kriptomeri	Triplet

4.1. Struktur kimia materi genetik

4.1.1. Struktur DNA

Analisis secara kimia sel menunjukkan bahwa di dalam sel terdapat senyawa-senyawa organik, seperti karbohidrat, lemak, protein, dan asam nukleat. Asam nukleat ini (DNA) terdapat di dalam nukleus sebagai penyusun benang-benang kromatin yang pada waktu pembelahan sel akan memendek membentuk kromosom.

Nukleoplasma mengandung bermacam-macam bahan kimia, seperti larutan fosfat, gula ribosa, protein, nukleotida, asam nukleat, serta garam-garam mineral. Selain zat-zat tersebut, kita ketahui pula bahwa bahan dasar nukleus adalah protein yang khas yang disebut protein inti atau nukleoprotein. Nukleoprotein dibangun oleh senyawa protein dan asam nukleat. Dari beberapa macam asam nukleat yang ada sangkut pautnya dengan hereditas ada dua macam, yaitu DNA dan RNA. DNA (*Deoxyribose Nucleic Acid* = Asam Deoksiribo Nukleat = ADN) dan RNA (*Ribose Nucleic Acid* = Asam Ribo Nukleat = ARN). Keduanya bertanggung jawab membentuk protein serta mengontrol sifat-sifat keturunan. DNA merupakan materi genetik gen yang berada dalam lokus kromosom. RNA dibentuk oleh DNA, membawa kode genetik yang akan ditranslasi dan menentukan urutan asam amino pembentuk protein. Protein fungsional (enzim) yang terbentuk akan menentukan dapat tidaknya suatu reaksi berlangsung.

Penemu DNA dan RNA adalah seorang ahli kimia berkebangsaan Jerman, **Frederich Miesher (1869)**, yang menyelidiki susunan kimia nukleus. Zat yang mengandung fosfor sangat tinggi dalam nukleus mula-mula disebut nukleat.

Dengan penelitian lebih lanjut diketahui bahwa asam nukleat tersusun atas nukleotida-nukleotida sehingga merupakan polinukleotida. Satu nukleotida terdiri atas nukleosida dan fosfat (PO_4). Sedangkan nukleosida terdiri dari sebuah gula pentosa (berkarbon lima) dan sebuah basa nitrogen, berupa: purin atau pirimidin. Jadi, nukleosida adalah nukleotida yang tanpa fosfat, sedangkan nukleotida adalah nukleosida dengan fosfat.

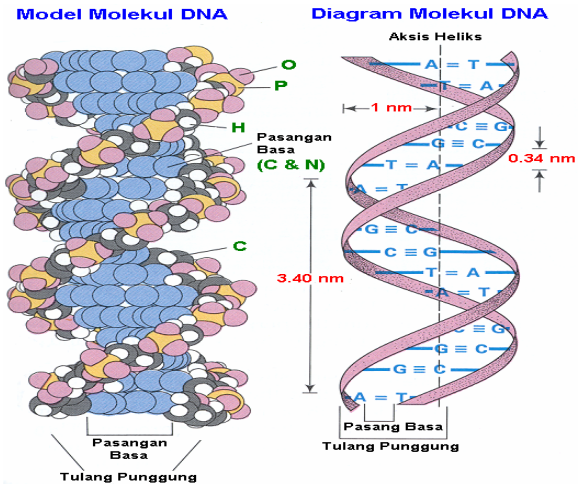
Asam deoksiribonukleat (DNA) merupakan molekul kompleks yang dibentuk oleh 3 macam molekul, yaitu:

1. gula pentosa (deoksiribosa)
2. fosfat (PO_4)
3. basa nitrogen terdiri dari:
   a. Purin: Guanin (G) dan Adenin (A)
   b. Pirimidin: Timin (T) dan Sitosin (C)

Jadi, suatu molekul nukleotida yang menyusun DNA terdiri dari ikatan gula pentosa, basa N, dan fosfat, dapat berbentuk:

1. adenin nukleotida = adenin deoksiribosa fosfat
2. guanin nukleotida = guanin deoksiribosa fosfat
3. sitosin nukleotida = sitosin deoksiribosa fosfat
4. timin nukleotida = timin deoksiribosa fosfat

Berdasarkan hasil penelitian Franklin dan M.H.F. Wilkins pada DNA dengan menggunakan sinar X, J.D.Watson dan F.C.H. Crick mengemukakan suatu model gen (1953), yang terkenal dengan nama *double helix* (tangga tali berpilin ganda) (lihat Gambar 4.1). Watson dan Crick mendapatkan hadiah Nobel pada tahun 1962 atas penemuan tersebut.



Gambar 4.1. Struktur molekul DNA heliks ganda.

Struktur kimia gen (DNA) menurut Watson-Crick berupa tangga berpilin tersusun atas:

1. gula dan fosfat sebagai induk/ ibu tangga.
2. basa nitrogen, dengan pasangan tetapnya sebagai anak tangga.

G berpasangan dengan C, dihubungkan oleh tiga ikatan (lemah) hidrogen, sedangkan T berpasangan dengan A dihubungkan oleh dua ikatan (lemah) hidrogen

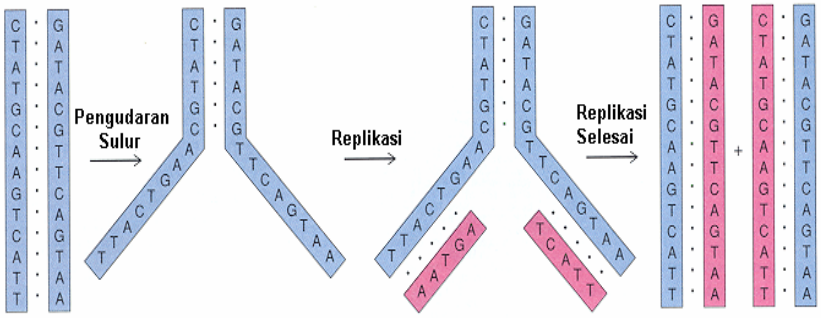
DNA mempunyai kemampuan *autokatalitik* membentuk DNA baru yang sama persis dengan DNA asal, proses ini disebut replikasi, Selain itu DNA juga mempunyai kemampuan membentuk molekul kimia lain dari salah satu atau sebagian rantainya yang disebut kemampuan *heterokatalitik.*

Peristiwa replikasi DNA pertama-tama diselidiki pada tahun 1957 oleh Taylor dan kawan-kawan dengan menggunakan nitrogen radioaktif N_{15} yang dilabelkan dalam timidin. Timidin ialah senyawa antara timin dan deoksiribosa. Percobaan Taylor dan kawan-kawan ini diperkuat oleh penelitian Matthew Miselson dan Franklin Stahl (1958) dengan menggunakan N dalam bentuk $N_{15}O_3$ pada bakteri *Escherichia coli*, ternyata sel-sel anakan yang terbentuk mengandung bahan radioaktif itu pula. Cara replikasi DNA berdasarkan percobaan Meselson dan Stahl ini disebut dengan cara semi konservatif (lihat Gambar 4.2), yang banyak diterima oleh sebagian besar ahli biologi.

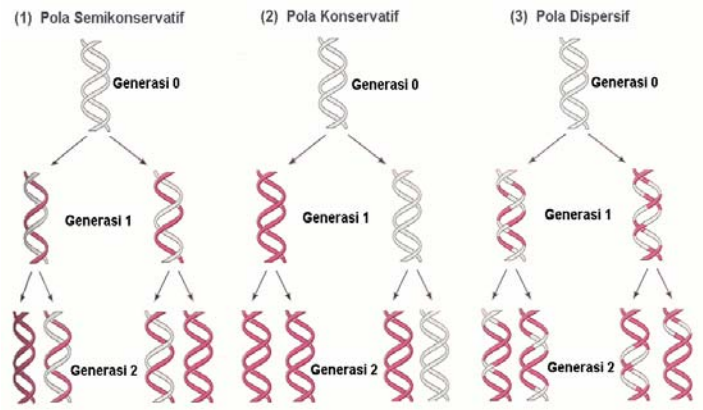
Teori semi konservatif menyatakan bahwa dua pita dari double helix memisahkan diri dan masing-masing pita yang lama membentuk pita baru. Dengan demikian DNA yang dibentuk mempunyai satu utas DNA lama yang berpasangan dengan utas DNA yang baru dibentuk dan merupakan komplemennya. Pada proses replikasi, urutan nukleotida kedua DNA yang baru dibentuk tersebut persis sama dengan urutan nukleotida pada DNA sebelumnya.

Replikasi berlangsung pada sel-sel yang sedang tumbuh, saat interfase (mitosis). Proses replikasi DNA ini melibatkan beberapa enzim antara lain:

a. *Helikase*, untuk mempermudah membuka rantai ganda DNA menjadi dua buah rantai tunggal.
b. *Polimerase,* untuk menggabungkan deoksiribo nukleosida trifosfat.
c. *Ligase,* untuk menyambung bagian-bagian rantai tunggal DNA yang baru terbentuk.



A. Replikasi menghasilkan DNA baru yang mempunyai urutan nukleotida persis sama dengan DNA lama.



B. semikonservatif menghasilkan DNA baru yang mempunyai satu utas dari DNA pembentuknya.

Gambar 4.2 Proses replikasi DNA.

Seperti halnya DNA, RNA mempunyai daya absorpsi maksimum terhadap sinar violet dengan panjang gelombang 260 milimikron, serta menyerap warna yang bersifat basa. RNA merupakan polinukleotida yang disusun oleh gula ribose (pentosa), fosfat, dan basa nitrogen berupa purin (Adenin dan Guanin) serta pirimidin (Cytosin dan Urasil) yang menggantikan timin. Selain itu, RNA merupakan utas tunggal.

Perbedaan antara DNA dan RNA secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Perbedaan DNA dan RNA

DNA	RNA
1. Rantai panjang dan ganda *(double helix).*	1. Rantai pendek dan tunggal.
2. Basa nitrogennya terdiri atas: purin, yaitu (Adenin=A) dan (Guanin=G), pirimidin berupa (Timin=T) dan (Sitosoin=C).	2. Basa nitrogennya terdiri atas: purin, yaitu (Adenin=A) dan (Guanin=G) dan pirimidin yaitu (Urasil=U) dan Sitosin=C).
3. Komponen gula pentosanya adalah deoksiribosa,	3. Komponen gula pentosanya adalah ribosa.
4. Hanya ditemukan dalam kromosom, mitokondria, dan kloroplas.	4. Ditemukan dalam sitoplasma (ribosom dan nukleus).
5. Fungsinya berhubungan erat dengan penurunan sifat dan sintesis protein.	5. Fungsinya berhubungan erat dengan sintesis protein fungsional.
6. 6. Kadarnya tidak dipengaruhi oleh aktivitas sintesis protein.	6. Kadarnya dipengaruhi oleh aktivitas sintesis protein.

RNA dibentuk oleh DNA di dalam nukleus melalui proses transkripsi. Ada tiga macam RNA, yaitu :

1. RNA duta disebut juga mRNA (*messenger* RNA), berperan membawa kode genetik dari DNA.
2. RNA ribosom (rRNA), berperan sebagai penyusun ribosom.
3. RNA transfer (tRNA), berperan membawa asam amino.

4.1.2. Kode genetik

Kode genetik ialah suatu cara untuk menetapkan jumlah serta urutan nukleotida yang berperan dalam menentukan posisi yang tepat dari tiap asam amino dalam rantai peptida yang panjang (polipeptida). Berapa jumlah nukleotida yang diperlukan untuk mengkode penempatan asam amino dalam polipeptida?

Nerenberg, Khorona, dan Holley tahun 1968 menerima hadiah nobel karena menciptakan kode genetik dengan membuat mRNA buatan yang hasilnya sebagai berikut:

1. Jika sebuah kodon hanya terdiri dari dari satu nukleotida saja, maka akan didapatkan 4 kodon, yaitu A,G,C, dan U. Kode genetik yang menggunakan 1 nukleotida saja disebut kode singlet, kode ini tidak memenuhi syarat, sebab baru mengkode 4 asam amino, padahal jumlah asam aminonya 20.

2. Jika sebuah kodon terdiri dari tiga nukleotida, didapatkan 4^3 = 64 kodon disebut kode triplet. Dengan kode triplet akan ada kelebihan 64-20= 44 kodon, tetapi ini tidak menjadikan masalah karena satu macam asam amino dapat dikode oleh beberapa kodon (lihat Tabel 4.2)

Maka semakin jelas bahwa kode yang berlaku sampai sekarang adalah kode triplet. Dari 64 macam kodon, 3 kodon yaitu UAA, UAG, dan UGA merupakan kodon nonsense (kodon stop), yaitu kodon yang mengakhiri sintesis protein. Sedangkan kodon UAG dengan terjemahannya metionin merupakan kodon awal (kodon start) yaitu kodon untuk memulai terjadinya sintesis protein.

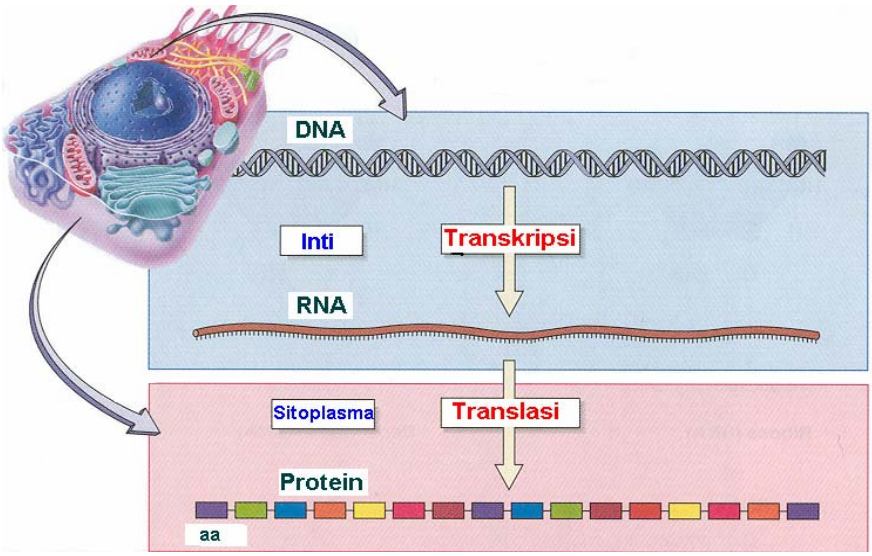
Tabel 4.2. Kodon triplet pada mRNA

Tabel Kode Genetik

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

4.1.3. Sintesis polipeptida

Kode genetik diekspresikan ke dalam bentuk sintesis protein. Sintesis protein membutuhkan bahan dasar asam amino dan berlangsung dalam ribosom. Sintesis ini melibatkan DNA, RNA, dan ribosom. Secara garis besar ekspresi gen berlangsung melalui dua tahap, yaitu transkripsi dan translasi (lihat Gambar 4.3)

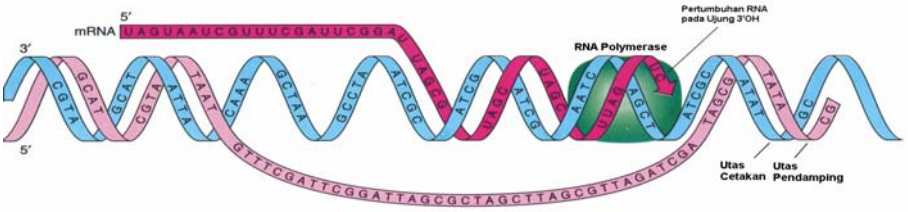


Gambar 4.3. Proses transkripsi dan translasi.

4.1.3.1. Transkripsi

Informasi genetik dicetak dalam bentuk kode oleh DNA di dalam inti sel. Pembawa informasi atau kode ini adalah mRNA (*messenger* RNA) atau RNA duta. Kode-kode tercermin pada susunan atau urutan basa nitrogen yang teratur dalam mRNA. Ini berarti kode atau informasi adalah mRNA sendiri.

Pencetakan mRNA (kode) berdasarkan DNA cetakan disebut transkripsi. Transkripsi adalah pembentukan mRNA dari salah satu pita DNA (DNA cetakan) dengan bantuan enzim RNA polimerase (Gambar 4.4)



Gambar 4.4. Transkripsi dengan enzim RNA polimerase.

Proses transkripsi adalah sebagai berikut:

a. RNA polimerase melekat pada molekul DNA sehingga menyebabkan sebagian dari *double helix* terbuka.

b. Akibat terbukanya pita DNA, basa-basa pada salah satu pita menjadi bebas, sehingga memberi kesempatan pada basa-basa pasangannya menyusun mRNA. Misalnya; Timin (T) dari DNA akan membentuk Adenin (A) pada mRNA, Sitosin (C) dari DNA akan membentuk Guanin (G) pada mRNA, dan seterusnya. Oleh karena enzim RNA polimerase bergerak di sepanjang pita DNA yang menjadi model. DNA yang melakukan transkripsi adalah DNA sense/template.

c. mRNA yang sudah selesai dicetak akan meninggalkan inti sel menuju sitoplasma dan melekat pada ribosom. Ribosom adalah granula-granula dalam sitoplasma yang berperan dalam sintesis protein. Biasanya berderet 4 atau 5 dan disebut *polisom*.

d. Transkripsi ini mirip dengan replikasi DNA, hanya bedanya:
   - Basa Urasil RNA mengganti Timin DNA.
   - mRNA yang terbentuk tidak tinggal berpasangan dengan pita DNA pembuatnya, tetapi melepaskan diri meninggalkan inti sel.
   - Replikasi DNA memberikan hasil yang tetap di dalam genom, sedangkan pembentukan molekul RNA berlangsung dan hasilnya digunakan langsung dalam waktu singkat untuk sintesis protein

4.1.3.2. Translasi

Ribosom akan membaca kode yang ada pada mRNA dengan bantuan RNA lain, yakni RNA transfer (tRNA). Di dalam sitoplasma banyak terdapat tRNA, asam-asam amino dan lebih dari 20 enzim-enzim amino hasil sintetase. Prosesnya adalah sebagai berikut:

a. Pemindahan asam amino dari sitoplasma ke ribosom dilakukan oleh tRNA. Asam amino terlebih dahulu diaktipkan dengan ATP (Adenosin Trifosfat), proses ini dipengaruhi oleh enzim amino asil sintetase. Hasilnya berupa Aminoil Adenosin Monofosfat (AA-AMP) dan fosfat organik.

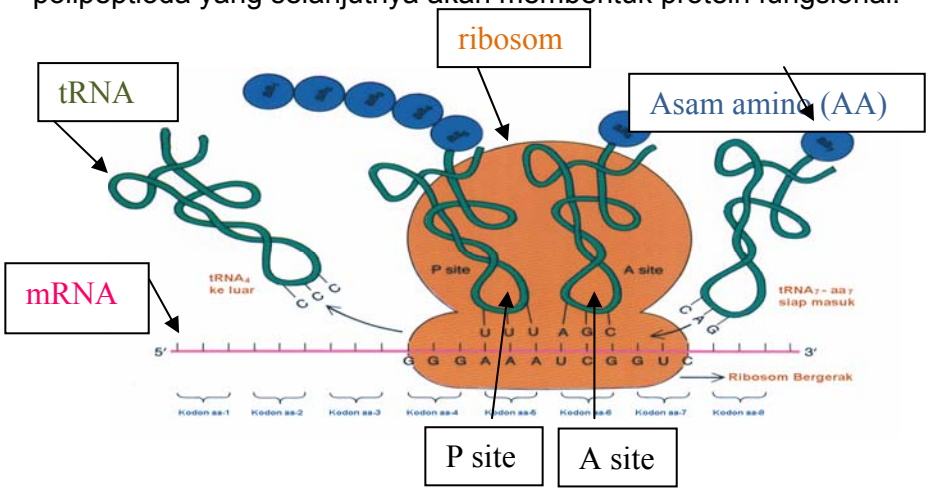
b. AA-AMP diikat oleh tRNA untuk dibawa ke ribosom.

c. Ujung bebas tRNA mengikat asam amino tertentu yang telah diaktifkan. Di bagian lengkungan terdapat tiga basa nukleotida yang disebut antikodon, yang nantinya berpasangan dengan tiga basa yang disebut kodon pada pita mRNA.

d. Dalam ribosom terdapat situs (tempat) melekatnya mRNA dan dan dua situs tRNA (*P site dan A site*) (lihat Gambar 4.5). Anti kodon pada tRNA harus sesuai dengan pasangan basa dari kodon pada mRNA. Jika asam-asam amino yang terdapat pada P *site* telah bergabung ke asam amino yang terdapat pada tRNA di A *site*

maka ribosom akan bergerak sepanjang mRNA ketiga basa berikutnya.

e. tRNA yang telah melepaskan asam amino kemudian meninggalkan ribosom, bebas dalam sitoplasma untuk selanjutnya mampu mengikat asam amino lain semacam yang telah diaktifkan oleh ATP, sedangkan tRNA dengan rantai asam amino menempati P site, tRNA berikutnya dengan asam amino akan datang ke ribosom ke P site. Demikian seterusnya sehingga dalam polisom terangkai bermacam-macam asam amino dan tersusun menjadi rangkaian polipeptioda yang selanjutnya akan membentuk protein fungsional.



Gambar 4.5 Translasi melibatkan ribosom, mRNA dan tRNA, dan asam amino.

Translasi meliputi tiga tahapan, yaitu: inisiasi, elongasi dan terminasi. Proses translasi akan berakhir jika sampai ke kodon akhir. Perlu diingat bahwa pada setiap tahap diperlukan enzim dan dua tahap pertama memerlukan energi.

Jadi dalam ribosom berlangsung penerjemahan urutan nukleotida DNA ke protein. Urutan singkat sintesis protein fungsional adalah sebagai berikut:

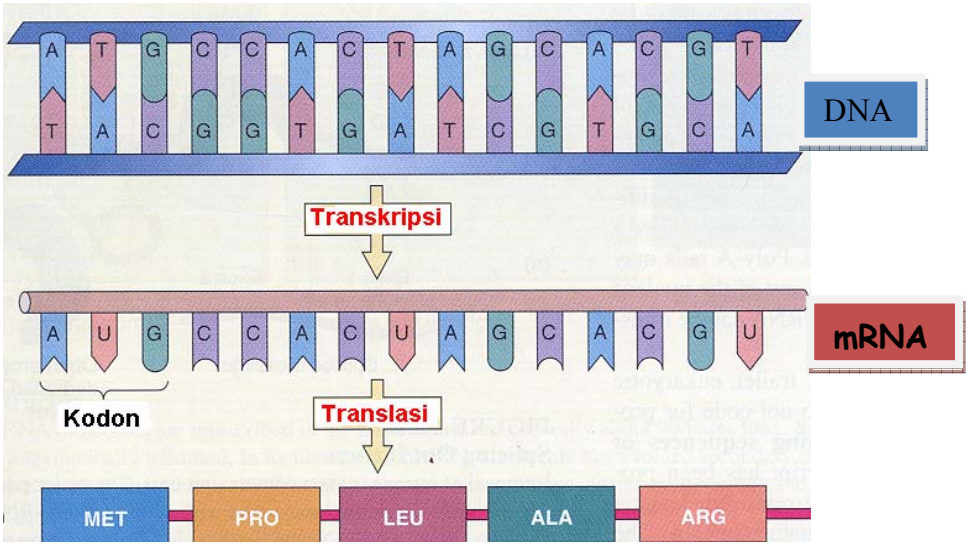
1. DNA membentuk mRNA untuk membawa kode sesuai urutan basa N-nya.

2. mRNA meninggalkan inti, pergi ke ribosom dalam sitoplasma.

3. tRNA datang membawa asam amino yang sesuai dengan kode yang dibawa oleh mRNA. tRNA ini bergabung dengan mRNA sesuai dengan kode pasangan basa N-nya yang seharusnya.

4. Asam–asam amino akan berjajar-jajar dalam urutan yang sesuai dengan kode sehingga terbentuklah rangkaian polipeptoda yang selanjutnya membentuk protein fungsional (lihat Gambar 4.6)

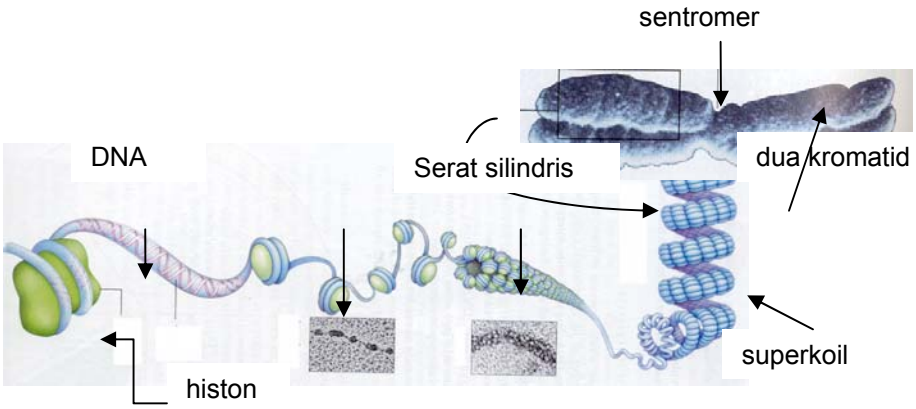
5. Protein yang terbentuk merupakan enzim yang mengatur metabolisme sel dan reproduksi.



Gambar 4.6. Urutan asam amino pada protein (polipeptida), ditentukan oleh urutan kodon triplet pada mRNA.

4.1.4. Kromosom

Kromosom adalah benang-benang halus (kromatin) dalam plasma inti (nukleoplasma) yang mengalami pemendekan dan perbesaran sewaktu sel mengalami proses pembelahan (mitosis dan meiosis). Kromatin itu sendiri terdiri atas protein histon yang dililit oleh DNA membentuk nukleosom. Pada waktu mitosis, benang kromatin memendek melalui proses spiralisasi membentuk selenoid, superkoil, akhirnya membentuk kromosom yang pendek dan tebal, terlihat dalam bentuk dua belahan memanjang yang dinamakan kromatid (Gambar 4.7). Kromosom tersebut menyusun diri di bidang ekuator pada saat metafase. Pada saat metafase masing-masing individu kromosom dapat dilihat dengan jelas sehingga jumlahnya dapat dihitung.



Gambar 4.7 Kromosom terbentuk melalui spiralisasi.

Setiap makhluk hidup mempunyai jumlah kromosom tertentu. Individu yang satu spesies mempunyai jumlah kromosom sama. Manusia misalnya, jumlah kromosom dalam setiap sel tubuhnya ada 46 kromosom (23 pasang), Gorilla 48 kromosom, domba 60 kromosom, Lalat buah 8 kromosom, dan makhluk hidup lainnya seperti pada Tabel 4.3.

Struktur kromosom dapat dilihat dengan jelas pada metafase saat inti sel membelah. Sehubungan dengan itu ada 4 macam bentuk kromosom menurut posisi sentromer, yakni:

1. *Telosentrik*: letak sentromer di ujung.
2. *Akrosentrik*: letak sentromer mendekati ujung.
3. *Sub metasentrik*: letak sentromer agak jauh dari ujung kromosom dan biasanya membentuk huruf L atau J.
4. *Metasentrik*: letak sentromer berada di tengah sehingga panjang masing-masing lengan sama.

Tabel 4.3. Jumlah kromosom makhluk hidup

Manusia	46	Tikus (Rattus)	42
Gorilla	48	Mencit (Mus)	40
Orang Utan	48	Ayam	40
Simpanse	48	Kadal	34
Siamang	50	Katak	26
Kukang	50	Salamander	28
Marmot	60	Kumbang	28
Kelinci	44	Nyamuk (*Culex*)	16
Kuda	60	Lalat (*Musca*)	12
Domba	60	Belalang	24
Kambing	60	*Drosophila melanogaster*	8
Sapi	60	*D. obscura*	10
Anjing	78	*D. virilis*	12
Kucing	38	*Ascaris*	2

Jengkerik	24	Kecubung	24
Cyclops	4	Bawang	16
Pakis	44	Jagung	20
Tomat	24	Gandum (*wheat*)	42
Tembakau	48	Ercis	14
Kentang	48	Buncis	14

Menurut fungsi mengatur jenis gamet, kromosom dapat dibedakan atas:

1. *Autosom (Kromosom tubuh)*: kromosom yang selalu terdapat dalam pasangan sama pada individu jantan dan betina, dan tidak berperan dalam mengatur jenis kelamin.

2. *Gonosom* (*allosom = kromosom seks = kromosom kelamin = kromosom pembeda*): kromosom yang susunan pasangannya berbeda pada individu jantan dan betina, dan bertanggung jawab atas penentuan sifat jenis kelamin dan beberapa sifat yang berkaitan dengannya.

Pada manusia dan kebanyakan hewan, kromosomnya terdiri atas:
*) 1 pasang gonosom (kromosom seks)
*) (n-1) pasang autosom (kromosom tubuh)

Contoh:
1. Lalat buah → yang jumlah kromosomnya 8 (4 pasang) terdiri:
   - 1 pasang gonosom (2 gonosom)
   - 3 pasang autosom (6 autosom)

Maka:
a. Lalat buah jantan:
   - setiap sel tubuhnya (somatis) mengandung:
     3 pasang autosom (6 autosom) + sepasang gonosom (XY).
   - setiap gamet mengandung: 3 autosm + X atau Y.

b. Lalat buah betina:
   - setiap sel tubuhnya (somatis) mengandung:
     3 pasang autosom + sepasang gonosom pasang autosom (XX)
   - setiap gamet mengandung: 3 autosom + X.

2. Manusia mempunyai jumlah 46 kromosom (23 pasang), terdiri :
   - 22 pasang autosom (44 autosom).
   - 1 pasang gonosom (2 gonosom).

Maka:
a. Laki-laki:
   - setiap sel tubuhnya (somatis) mengandung:
     22 pasang autosom (44 autosom) + sepasang gonosom (XY).

- setiap gamet mengandung: 22 pasang autosom + X atau Y.

b. Perempuan:
   - setiap sel tubuhnya (somatis) mengandung:
     22 pasang autosom (44 autosom) + sepasang gonosom (XX).
   - setiap gamet mengandung: 22 autosom + X.

Untuk bahan standar dalam mempelajari tingkah laku dan susunan kromosom *Drosophila melanogaster* dijadikan sebagai objek penyelidikan, disebabkan lalat memiliki sifat-sifat berikut ini:
1. memiliki kromosom raksasa (besarnya sampai 100 X kromosom biasa).
2. cepat berkembang biak, mudah diperoleh, mudah dipelihara.
3. setelah 10-14 hari lalat sudah dewasa (siklus hidup singkat).
4. lalat betina bertelur banyak.
5. mempunyai 8 kromosom sehingga memudahkan penyelidikan.

4.1.5. Gen, Alel dan Alel Ganda

Thomas Hunt Morgan menemukan bahwa gen tersimpan dalam lokus yang khas dalam kromosom. Jadi *lokus* merupakan tempat kedudukan gen dalam kromosom.

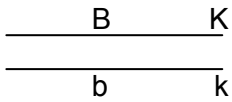
Gen adalah substansi hereditas (DNA) yang mengkodekan suatu sifat makhluk hidup, merupakan senyawa kimia yang antara lain memiliki sifat-sifat:
a. sebagai zarah tersendiri yang terdapat dalam kromosom
b. mengandung informasi genetik
c. dapat *menduplikasikan* diri pada peristiwa mitosis, artinya dapat membentuk gen yang serupa sehingga dapat menyampaikan informasi genetik kepada generasi berikutnya.

Gen mempunyai dua fungsi pokok, yaitu:
1. mengatur perkembangan dan metabolisme individu.
2. menyampaikan informasi genetik kepada generasi berikutnya melalui meiosis.

Gen-gen disimbolkan dengan *huruf* yang merupakan *karakter* yang diaturnya. Huruf kapital untuk karakter yang dominan dan huruf kecil untuk karakter yang resesif.

- Bulat → karakter dominan → *B*
- Kisut → karakter resesif → b (bukan k)
- Kuning → karakter dominan → *K*
- Hijau → karakter resesif → k (bukan h)

Berkaitan dengan lokus sebagai tempat gen dalam kromosom, gen-gen pada kromosom digambarkan sebagai garis-garis pendek horizontal pada garis vertikal sebagai Gambaran dari kromosom (seperti pada Gambar 4.8).



Gambar 4.8. Alel pada suatu lokus.

Karena kromosom selalu berpasangan dalam sel tubuh (kromosom homolog) maka gen-gen itu pun ditulis berpasang-pasangan, dimana pasangan itu merupakan pasangan huruf yang sama baik huruf kapital ataupun huruf kecil.

- kedudukan gen B di atas pada satu kromosom adalah setentang/selevel/setingkat/bersesuaian dengan gen B dari kromosom lain yang homolog. Demikian pula halnya dengan gen b adalah setentang/selevel dengan gen b dari kromosom lain yang homolog.

- Gen-gen yang berada pada lokus yang setentang/selevel/bersesuaian pada kromosom yang homolog inilah yang disebut *alel*. Jadi alel merupakan bentuk alternatif suatu gen.

  Oleh karena itu gen B adalah alel dari b dan sebaliknya, sedangkan gen K adalah alel dari k dan sebaliknya. Jadi Alel adalah gen-gen yang terletak pada lokus yang bersesuaian pada pasangan kromosom yang sehomolog dan memiliki pekerjaan sama atau berbeda tetapi untuk satu tugas tertentu.

- Umumnya alel terdiri atas 2 anggota. Namun ada juga seri alel atau pasangan gen yang memiliki lebih dari 2 anggota alel, misalnya 3, 4 sampai 20 atau lebih. Seri alel yang demikian disebut *alel ganda* (*multiple alleles*).

- Berapa pun banyaknya anggota seri alel ganda, tetapi hanya dua anggota yang terdapat dalam suatu sel tubuh dan hanya satu anggota di dalam sel kelamin (gamet).

Contoh alel ganda:

Untuk warna bulu pada kelinci, pada 4 alel yang dirumuskan dengan gen W, W^h, W^h dan w. Urutan dominasinya: W > W^k > W^h >w, dimana gen:

- W : bulu normal

- W^k : bulu kelabu muda (Chinchlia)
- W^h : bulu himalaya (putih)
- w : bulu albino (tidak berpigmen)

Jadi:
- Untuk ekspresi bulu berwarna normal memiliki 4 kemungkinan kombinasi gen, yaitu: WW, WW^k, WW^h, Ww.
- Untuk ekspresi bulu kelabu muda memiliki 3 kemungkinan kombinasi gen, yaitu: W^kW^k, W^kW^h, W^kw.
- Untuk ekspresi bulu himalaya memiliki 2 kemungkinan kombinasi gen yaitu: W^hW^h dan W^hw.
- Dan untuk ekspresi bulu albino hanya memiliki 1 kemungkinan kombinasi gen yaitu: ww.

Untuk golongan darah manusia Gen yang bertanggung jawab dalam penentuan golongan darah untuk sistem ABO ada 3 alel yaitu I^A, I^B, I^O. Urutan dominasinya adalah $I^A = I^B > I^O$. Golongan darah A misalnya memiliki 2 kemungkinan kombinasi yaitu: I^AI^A dan I^AI^O. Begitu juga dengan B memiliki 2 kemungkinan kombinasi yaitu: I^BI^B dan I^BI^O. Sedangkan golongan darah O dan AB hanya memiiliki 1 kombinasi yaitu I^AI^B dan I^OI^O.

4.2. Pembelahan mitosis dan meiosis

Pada makhluk hidup bersel eukariotik terdapat dua macam reproduksi sel, yaitu mitosis dan meiosis. Kedua jenis reproduksi ini akan dijelaskan secara rinci sebagai berikut.

4.2.1. Pembelahan mitosis

Sel yang membelah secara mitosis akan menghasilkan dua sel anak, masing-masing memiliki sifat dan jumlah kromosom yang sama dengan induknya. Mitosis terjadi pada sel tubuh (sel somatik), bersifat diploid (2n) dan pembelahan berlangsung secara bertahap melalui beberapa fase, yaitu: profase, metafase, anaphase, telofase, dan interfase.

a. Profase

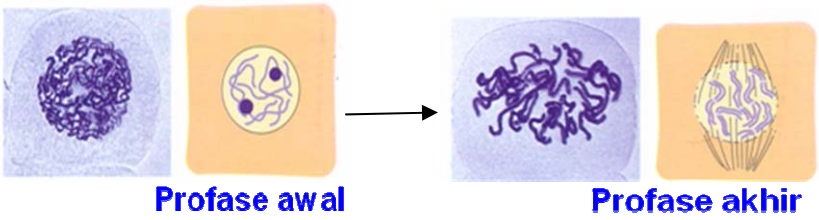
Pada fase ini (lihat Gambar 4.9), sel induk yang akan membelah memperlihatkan gejala terbentuknya dua sentriol dari sentrosom, yang satu tetap berada di tempatnya, sedangkan yang satu bergerak kearah kutub yang berlawanan. Masing-masing sentriol memencarkan serabut-serabut berupa filamen yang disebut benang gelendong pembelahan (benang *spindle*), yang menghubungkan sentriol satu dengan lain.

Membran inti yang masih tampak pada profase awal kemudian segera terpecah-pecah. Butiran kromatin memanjang menjadi

benang kromatin. Benang kromatin kemudian memendek dan menebal menjadi kromosom, dengan bagian yang menggenting disebut *sentromer*. Sentromer adalah bagian kromosom yang tidak bisa menyerap zat warna. Masing-masing sentromer mengandung *kinetokor,* yaitu tempat mikrotubulus terikat.

Selanjutnya kromosom berduplikasi membujur menjadi dua bagian yang masing-masing disebut kromatid. Bersamaan dengan itu, anak inti (nukleolus) mengecil dan tidak tampak atau menghilang. Dengan demikian, kromatid benang spindle meluas keluar ke segala arah, disebut sebagai *aster.*

Di akhir pofase, selubung inti sel pecah dan setiap kromatid melekat di beberapa benang spindle di kinektor. Kromosom duplikat lalu meninggalkan daerah kutub dan berjajar di ekuator

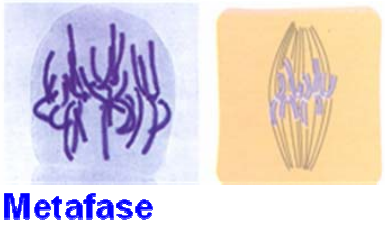


Gambar 4.9 Profase Mitosis.

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

b. Metafase

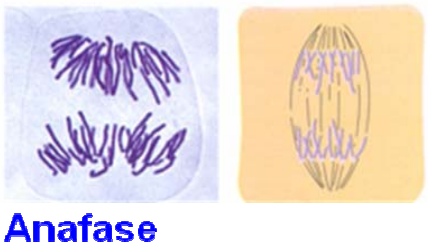
Periode selama kromosom di ekuatorial disebut metafase (Gambar 4.10). Membran inti sudah menghilang, kromosom berada di bidang ekuator, dengan sentromernya seolah kromosom berpegang pada benang gelendong pembelahan. Pada fase ini kromosom tampak paling jelas.



Gambar 4.10. Tahap metaphase Mitosis.

c. Anafase

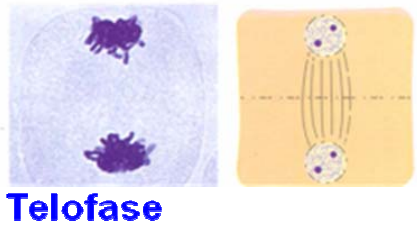
Selama anafase (Gambar 4.11), kromatid bergerak menuju kearah kutub-kutub yang berlawanan. Kinetokor yang masih melekat pada benang spindel yang berfungsi menunjukkan jalan, sedangkan lengan kromosom mengikuti di belakang.



Gambar 4.11. Tahap Anafase Mitosis.

d. Telofase

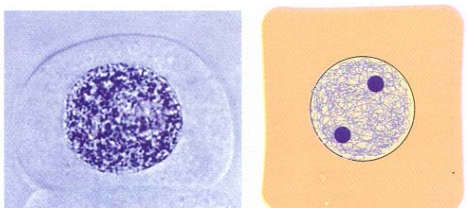
Pada tahap telofase, kromatid-kromatid mengumpul pada kutub-kutub yang berlawanan (Gambar 4.12). Benang gelendong menghilang, kromatid memanjang kembali membentuk benang-benang kromatin. Membran inti dan nukleolus terbentuk kembali. Pada sel tumbuhan, di bidang ekuator terjadi pembentukan lempengan sel dari bagian tengah menuju ke luar, sedangkan pada sel hewan terjadi lekukan dari sebelah luar yang makin lama makin ke dalam hingga sel induk terbagi menjadi dua. Kedua sel anak, masing-masing mempunyai sifat dan jumlah yang kromosom yang sama dengan induknya.



Gambar 4.12.Tahap telofase Mitosis.

e. Interfase

Interfase disebut pula fase istirahat, tetapi sebutan ini kurang tepat karena justru pada saat ini sel mempersiapkan diri untuk pembelahan lagi dengan mengumpulkan materi dan energi. Pada fase ini kromosom tidak tampak.



Gambar 4.13. Tahap interfase.

Akhirnya pembelahan secara mitosis menghasilkan dua sel anak yang masing-masing sel anakan memiliki jumlah dan sifat kromosom yang sama dengan sel induknya. Pada pembelahan ini terjadi pembagian inti (kariokinesis) dan pembagian plasma/sitoplasma (sitokinesis).

Pada makhluk hidup multiseluler, mitosis merupakan mekanisme memperbanyak sel atau pertumbuhan, penyembuhan luka, dan perbanyakan secara vegetatif; sedangkan pada makhluk hidup bersel satu, mitosis merupakan cara bereproduksi. Bagi makhluk hidup bersel satu menjadi dua secara mitosis berarti memperbanyak diri.

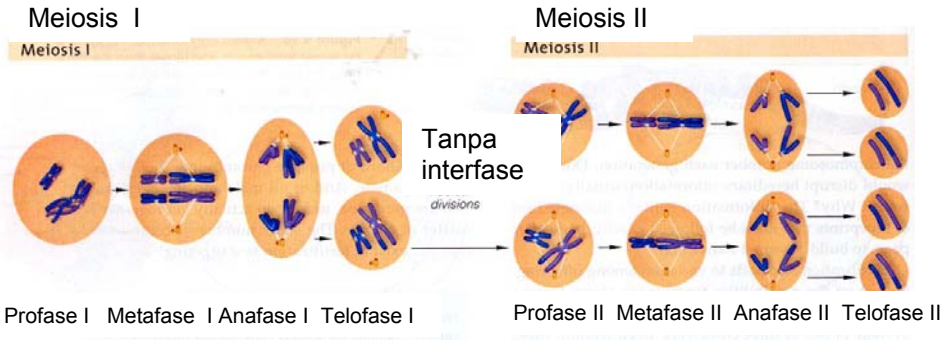
Apabila kalian menanam ubi kayu, ubi jalar, pisang, atau tebu, kalian melakukan perbanyakan secara vegetatif. Tanaman yang kalian peroleh akan menghasilkan sifat-sifat yang sama dengan induknya. Hal ini disebabkan pada perbanyakan secara vegetatif prinsipnya melalui pembelahan secara mitosis. Pembelahan mitosis menghasilkan sel-sel yang mempunyai sifat sama dengan induknya, dari sel diploid menghasilkan sel-sel diploid, jumlah dan susunan kromosom masih tetap sama. Perbanyakan vegetatif lainnya adalah dengan cara okulasi, cangkok, menyambung, dan kultur jaringan. Semuanya menghasilkan keturunan yang sama dengan induknya.

Pada okulasi dan menyambung, kita menggabungkan dua sifat tanaman induk, yaitu tanaman yang digunakan sebagai tanaman bawah dan tanaman atas. Tanaman bawah biasanya dipilih tanaman yang mempunyai sifat perakaran yang baik, tahan terhadap penyakit akar, meskipun produksi tidak baik. Tanaman atas dipilih tanaman yang mempunyai produksi bagus tetapi tidak tahan terhadap penyakit akar. Dengan praktek menyambung dan okulasi kita dapat memperoleh tanaman yang mempunyai perakaran baik dan tahan terhadap penyakit akar serta mempunyai produksi yang bagus. Praktik okulasi dan menyambung banyak

dilakukan pada tanaman karet, jeruk, manggis, durian, dan tanaman buah-buahan lainnya.

4.2.2. Pembelahan meiosis

Pembelahan sel ini berlangsung melalui dua tahap melalui interfase, dikenal dengan meiosis I dan meiosis II (lihat Gambar 4.14)



Gambar 4.14 Meiosis I dan II.

4.2.2.1. Meiosis I

Meiosis I, fase-fasenya meliputi :

a. Profase I

Profase terbagi lagi menjadi fase-fase sebagai berikut :

- Leptonema: benang-benang kromatin menjadi kromosom.
- Zigonema: kromosom yang sama bentuknya atau kromosom homolog berdekatan dan bergandengan. Setiap pasang kromosom homolog disebut bivalen.
- Pakinema: setiap bagian kromosom homolog mengganda, tetapi masih dalam satu ikatan sentromer sehingga terbentuk tetrad.
- Diplonema: sentrosom membentuk dua sentriol yang masing-masing membentuk benang gelendong pembelahan. Satu sentriol tetap, sedangkan sentriol yang lain bergerak kea rah kutub yang berlawanan. Membran inti dan nukleolus hilang. Empat kromatid bivalen tadi disebut tetrad dan terjerat oleh benang gelendong yang dibentuk oleh sentriol-sentriol.

b. Metafase I

Tetrad berkumpul di bidang ekuator.

c. Anafase I

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

d. Telofase I

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

4.2.2.2. Meiosis II

Meiosis II, fase-fasenya meliputi :

a. Profase II

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

b. Metafase II

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

c. Anafase II

Kromatid terkumpul pada kutub pembelahan lalu berubah menjadi kromatid kembali. Bersamaan dengan itu membrane inti dan anak inti terbentuk lagi, dan sekat pemisah semakin jelas sehingga akhirnya terjadilah dua sel anakan.

Pada pembelahan meiosis terjadi dua kali pembelahan. Antara pertama dan meiosis kedua tidak terdapat interfase. Satu sel induk yang diploid (2n) menghasilkan empat sel anakan yang bersifat haploid (n). Meiosis dapat disebut pula pembelahan reduksi yang berarti terjadi pengurangan jumlah kromosomnya.

Hewan dan tumbuhan mengalami meiosis dan mitosis. Pada hewan, fase diploid lebih dominan dibanding fase haploid. Pada tumbuhan lumut, dan fungi, fase haploid lebih dominan dibanding fase diploid. Pada tumbuhan berpembuluh seperti paku-pakuan, tumbuhan berbiji terbuka maupun tertutup, fase diploid lebih dominan dibandingkan dengan fase haploid. Pada sel tumbuhan, fase haploid disebut generasi gametofit dan fase diploid disebut generasi sporofit.

Pada sel tumbuhan, sebelum pembentukan gamet didahului dengan proses meiosis menghasilkan megaspora atau mikrospora. Sebagai akibatnya terjadinya pengurangan jumlah kromosom menjadi setengahnya selama proses ini. Spora tersebut

selanjutnya mengalami mitosis membentuk gamet. Semua fase haploid ini dari spora hingga gamet disebut generasi gametofit.

Meiosis memegang peran penting dalam pembentukan sel kelamin/gamet dalam kelenjar kelamin (gonad), yang pada hewan jantan terjadi di testis dan pada hewan betina terjadi di ovarium. Pada tumbuhan berbiji, meiosis terjadi pada kepala sari dan kandung lembaga. Pada tumbuhan lumut, meiosis terjadi di sporangiumnya. Dengan demikian sekarang kita telah mengetahui bahwa pada paku meiosis terjadi di sporangiumnya. Kita juga mengenal bahwa spora yang terbentuk pada tumbuhan berspora sifatnya haploid, mengapa?

Pada tumbuhan spermatophyta, yaitu tumbuhan bunga (Anthophyta) atau angiospermae, benang sari terdiri atas kepala sari (anter) dan tangkai sari (filamen). Gamet jantan (serbuk sari) dibentuk di kepala sari. Di dalam kepala sari terdapat ruang serbuk sari yang jumlahnya tergantung spesiesnya. Di tiap ruang ini terdapat sejumlah sel induk, yaitu mikrosporosit (2n) yang kemudian membelah secara meiosis sehingga terbentuk empat mikrospora.

Setiap sel mikrospora menjadi berkembang dewasa membentuk serbuk sari. Tiap serbuk sari mengandung 1 sel tabung dan 1 inti generatif yang siap membuahi. Peristiwa pembentukan gamet jantan di atas disebut mikrosporogenesis.

Putik terdiri dari kepala putik (*stigma*), tangkai putik dan ovarium yang berisi bakal biji (*ovulum*). Di ovarium terdapat sel induk (megasporosit) yang bersifat diploid. Setelah membelah secara meiosis terbentuklah empat sel. Namun, hanya satu yang bertahan menjadi megaspora sedangkan tiga yang lain mengalami degerasi. Inti sel megaspora kemudian membelah menjadi dua, membelah lagi menjadi empat, membelah lagi sehingga terdapat delapan inti haploid. Selanjutnya, tiga inti berada di dekat pintu bakal biji (mikropile), yaitu dua sebagai sinegrid (pengiring) dan satu di tengah diapit sinegid sebagai ovum. Tiga inti lain berada di tempat yang berlawanan dengan mikropile sebagai antipoda. Dua inti bergabung di tengah sebagai inti kandung lembaga sekunder. Pada perkembangan berikutnya bagian ini siap untuk dibuahi. Pembuahan yang terjadi akan menghasilkan zigot bersifat diploid dan endospermae bersifat triploid.

4.2.3. Perbedaan mitosis dan meiosis

Perbedaan antara mitosis dan meiosis dapat dilihat pada Tabel 4.4. berikut ini.

Tabel 4.4. Perbedaan Mitosis dan Meiosis

Faktor Pembanding	Mitosis	Meiosis
Tujuan	Pada makhluk hidup bersel satu, bertujuan untuk memperbanyak diri (reproduksi). Pada makhluk hidup multiseluer bertujuan untuk perbanyakan sel dan pertumbuhan.	Pada makhluk hidup multiseluler untuk membentuk sel kelamin (gamet). Berfungsi megurangi jumlah kromosom agar keturunannya memiliki jumlah kromosom yang sama.
Tempat terjadi	Pada tumbuhan terjadi di jaringan meristematis, misalnya di ujung batang, ujung akar, dan kambium. Pada hewan terjadi di sel-sel somatik (sel tubuh).	Pada tumbuhan terjadi di benang sari dan putik Pada hewan terjadi di alat kelamin
Tahap pembelahan	Terjadi lewat rangkaian tahapan, yaitu profase, metafase, anafase, telofase, dan interfase.	Terjadi dua rangkaian tahapan yaitu meiosis I dan meiosis II Meiosis I * Profase I (loptonema, zigonema, pakinema, diplonema, diakenesis), metafase I, anafase I, dan telofase I. * Meiosis II Profase II, metafase II, anafase II dan Telofase II.
Hasil	Dua sel anakan yang memiliki jumlah kromosom seperti induknya (diploid).	Empat sel anakan yang memiliki setengah jumlah kromosom induknya (haploid).

4.2.4. Gametogenesis

Proses pembentukan gamet disebut gematogenesis, yang berlangsung secara meiosis (pematangan), yaitu perkembangan dari hasil akhir meiosis yang tidak langsung menjadi gamet. Di bagian muka telah disinggung bahwa gametogenesis berlangsung di alat-alat kelamin baik pada tumbuhan maupun hewan. Gametogenesis dibedakan menjadi dua yaitu *spermatogenesis* (pembentukan sperma) dan *oogenesis* (pembentuikan ovum). Secara prinsip keduanya melalui cara pembelahan yang sama, namun hasil akhirya berbeda.

a. Spermatogenesis

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

Spermatogonium bersifat diploid (2n), dalam pertumbuhannya spermatogonium membentuk sel *spermatosit primer* yang bersifat diploid pula, kemudian sel ini akan melakukan meiosis. Pada meiosis I, dihasilkan dua sel anakan yang bersifat haploid. Pada meiosis II, setiap sel tersebut menghasilkan dua sel anakan, hingga pada meiosis II terbentuk empat sel anakan yang disebut *spermatid.* Spermatid bersifat haploid, yang dalam pertumbuhannya mengalami maturasi membentuk *spermatozoon.* Sel spermatid dilengkapi dengan ekor sehingga spermatozoon dapat bergerak bebas bila berada pada medium cair. Hasil akhir dari spermatozoon (jamak: spermatozoa) fungsional dari satu sel induk yang mengalami meiosis.

b. Oogenesis

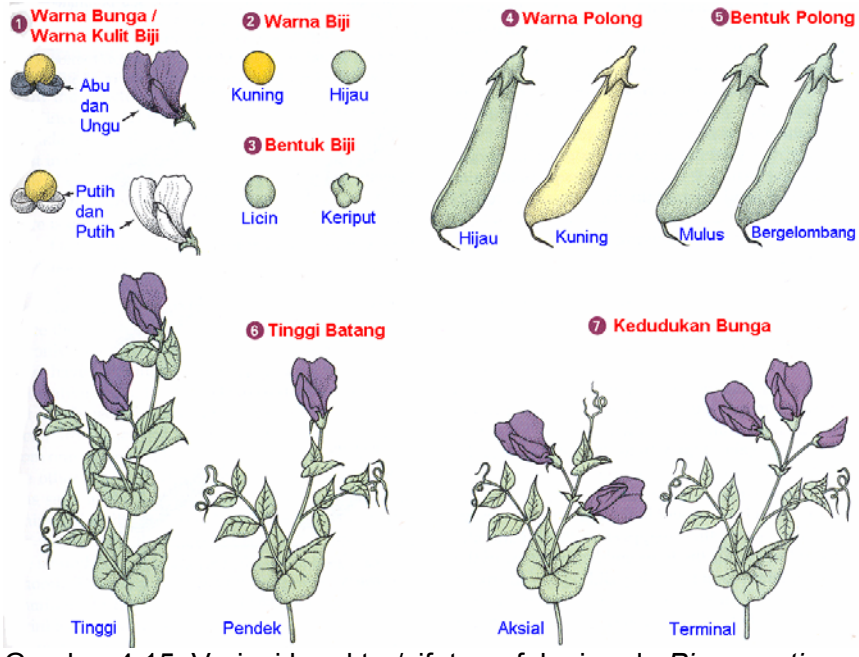
Oogenesis berlangsung dalam ovarium hewan atau kandung lembaga dalam bakal biji pada tumbuhan berbiji (gametofit betina). Sel primordial (asal) dalam ovarium yang bersifat diploid ialah oogonium, dalam pertumbuhannya terbentuk oosit primer yang bersifat diploid. Sel ini mengalami meiosis I sehingga terbentuk dua sel anakan, yang satu selnya kecil disebut *badan kutub primer*. Keduanya bersifat haploid karena telah terjadi reduksi pada kromosom. Kedua sel ini mengalami meiosis II. Pada sel oosit sekunder juga dihasilkan dua sel anakan, yang satu kecil di sebut sel badan kutub, yang satu lagi ootid yang berlangsung pada meiosis I juga berlangsung pada meiosis II, dan hasil anakan berupa dua sel badan kutub. Namun sel badan kutub mengalami degenerasi dalam perkembangannya hingga akhirnya mati, sedangkan ootid mengalami perkembangan menjadi ovom. Dengan demikian pada oogenesis, satu induk akhirnya membentuk satu ovum yang fungsional dan tiga sel badan kutub yang tidak fungsional (tidak terlibat dalam pembuahan).

4.3. Hereditas menurut hukum mendel dan penyimpangannya

Untuk membuktikan kebenaran teorinya, Gregor Johann Mendel (1822-1884) melakukan eksperimen dengan membastarkan tanaman-tanaman yang memiliki sifat beda. Tanaman yang dipilih adalah tanaman kacang ercis (*Pisum sativum)* karena memiliki kelebihan-kelebihan berikut:

1. mudah melakukan penyerbukan silang
2. mudah didapat
3. mudah hidup atau mudah dipelihara
4. cepat berbuah atau berumur pendek
5. dapat terjadi penyerbukan sendiri
6. terdapat jenis-jenis yang memiliki sifat beda yang mencolok, misalnya: a. warna bunga: ungu atau putih
   b. warna biji: kuning atau hijau
   c. warna buah (polong): hijau atau kuning
   d. bentuk biji : bulat (licin) atau keriput
   e. kulit biji: halus atau kasar
   f. ukuran batang; tinggi atau pendek
   g. letak bunga aksial (di ketiak daun) atau terminal (terletak di ujung batang)

Keragaman sifat pada Ercis dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15. Variasi karakter/sifat morfologi pada *Pisum sativum.*

Sebelum mempelajari hereditas Mendel, kita harus mengenal beberapa istilah seperti *gen dominan* adalah gen yang mendominasi pasangannya, seperti sifat B dikategorikan sebagai bulat. *Gen resesif* merupakan gen yang tidak mendominasi pasangannya seperti sifat keriput dengan simbol (b). *Homozigot dominan* adalah pasangan gen dengan sifat yang sama seperti BB dan bb. *Heterozigot* atau *intermediet* merupakan pasangan gen dengan sifat yang berbeda seperti Bb. Berdasarkan hereditas menurut Mendel,

mangga bergalur murni dengan sifat buahnya kecil namun rasanya manis, kita akan dapat memperoleh jenis mangga hibrida (hasil pembastaran) dengan sifat buah yang besar dan rasanya manis.dengan syarat sifat besar dominan terhadap sifat kecil, dan sifat manis dominan terhadap sifat masam.

Untuk mengetahui bahwa satu tanaman bergalur murni dapat dilakukan penyerbukan sendiri. Tanaman bergalur murni akan selalu menghasilkan keturunan yang sifatnya sama dengan sifat induk meski dilakukan berulang kali dalam beberapa generasi. Pada perkawinan induk jantan dan induk betina disebut *parental* (tetua) dan disimbolkan dengan huruf P (huruf kapital). Hasil persilangan parental disebut anak (*Filial*) dan disimbolkan dengan huruf F (huruf kapital). Persilangan induk galur murni dengan induk galur murni disebut P1, dan filialnya disebut F1. Sedangkan persilangan induk galur murni jantan F1 dengan individu betina F1 disebut F2, dan seterusnya. Galur murni selalu bergenotipe homozigot dan disimbolkan dengan dua huruf yang sama, huruf kapital semua atau huruf kecil semua. Misalnya BB (untuk sifat dominan) atau bb (untuk sifat resesif). Genotipe ialah sifat tidak tampak yang ditentukan oleh pasangan gen dalam individu. Sifat yang tampak dari luar atau sifat keturunan yang dapat kita amati disebut fenotipe. Contoh:

1. sifat warna biru pada bulu ayam adalah fenotipe, disimbolkan BB, maka BB adalah genotipe.
2. sifat pemarah adalah fenotipe, disimbolkan RR, maka RR adalah genotipe.

Menurut **Stern** (1930), genotipe dan faktor lingkungan dapat mempengaruhi fenotipe, dengan demikian,dua genotipe yang sama dapat menunjukkan fenotipe yang berbeda apabila lingkungan bagi keduanya genotipe tersebut berlainan. Genotipe homozigot BB dan RR disebut homozigot dominan, sedangkan bb dan rr adalah homozigot resesif. B (huruf kapital) dengan b (huruf kecil) atau R dan r merupakan pasangan gen yang masing-masing disebut alel. Menurut letaknya alel adalah gen-gen yang terletak pada lokus yang bersesuaian di kromosom homolog, sedangkan jika dilihat dari pengaruh gen pada fenotipe, alel adalah anggota dari sepasang gen yang memiliki pengaruh berlawanan.

Misalnya:

1. B menentukan sifat warna biru pada bulu ayam, sedangkan b tidak biru (putih misalnya) maka B merupakan alel dari b.

2. R (pemarah) alelnya r (penyabar) jadi B bukan alel dari r demikian pula R bukan alel dari b.

Jika genotipe suatu individu terdiri dari pasangan alel yang tidak sama maka disebut genotipe heterozigot (hetero = lain, zigot = hasil penyatuan gamet jantan dan gamet betina sampai terjadi pembelahan). Jika genotipe terdiri dari pasangan alel yang sama disebut homozigot. Perlu difahami bahwa huruf-huruf BB, bb, RR, rr dan sebagainya yang kita sebut genotipe, dengan fenotipe: warna biru X putih: sifat pemarah X penyabar; merupakan suatu perjanjian yang disepakati bersama (suatu konvensi).

Beberapa konvensi lain adalah sebagai berikut:

1). Gen-gen dominan (yang bersifat kuat sehingga menutupi pengaruh alelnya) disimbolkan dengan huruf kapital, sedangkan gen yang tertutup alelnya disebut resesif dan disimbolkan dengan huruf yang sama dengan gen dominan, tetapi huruf kecil.
Contoh:
   a. besar dominan terhadap kecil dapat ditulis dengan simbol sebagai berikut: B x b
   b. biru dominan terhadap putih dapat dituliskan dengan simbol: B x b.

2). Genotipe individu heterozigot dituliskan dengan dua huruf. Gen dengan sifat dominan dituliskan dengan huruf kapital di depan dan sifat resesif alelnya ditulis dengan huruf kecil di belakang. Contoh: RR fenotipenya pemarah ; R fenotipenya juga pemarah, akan tetapi untuk genotipe penyabar selalu rr. Jadi fenotipe sifat resesif selalu bergenotipe homozigot, yang berarti selalu bergalur murni.

4.3.1. Monohibrid dan dihibrid

Monohibrid atau monohibridisasi adalah suatu persilangan dengan satu sifat beda. Monohibrid pada percobaan Mendel dilakukan dengan menyilangkan ercis berbatang tinggi dan ercis berbatang pendek.

Untuk mengetahui bahwa suatu gen bersifat dominan maka harus dilakukan monohibridisasi antara dua individu bergalur murni yang memiliki sifat kontras (alelnya). Jika fenotipe F1 sama dengan salah satu sifat gen yang diuji tadi, berarti jelaslah bahwa sifat itulah yang dominan.

Jika diamati pada pembentukan gamet dari tanaman heterozigot (F1), ternyata ada pemisahan alel, sehingga ada gamet dengan alel T, dan ada gamet dengan alel t. Prinsipnya pada pembentukan gamet pada genotipe induk yang heterozigot dengan pemisahan alel tersebut terkenal dengan *Hukum Mendel* yang disebut *Hukum segregasi (pemisahan) gen secara bebas.*

Cara mencari macam dan jumlah gamet menggunakan diagram garpu. Dari data yang diperoleh dari percobaan-percobaannya Mendel menyusun hipotesis yang menerangkan hukum-hukum hereditas sebagai berikut:

1. Tiap sifat makhluk hidup dikendalikan oleh sepasang faktor keturunan (gen) satu dari induk jantan lainnya dari induk betina.

2. Tiap pasangan faktor keturunan menunjukkan bentuk alternatif sesamanya. Misalnya cokelat atau putih, bulat atau kisut, manis atau asam, kedua bentuk alternatif ini disebut alel.

3. Satu dari pasangan alel itu dominan atau menutup alel yang resesif bila keduanya bersama-sama.

4. Pada pembentukan sel kelamin (gamet) yaitu proses meiosis, pasangan faktor-faktor keturunan memisah. Setiap gamet menerima salah satu faktor dari pasangan itu, kemudian pada proses fertilisasi, faktor-faktor itu akan berpasangan secara acak

5. *Individu murni* (galur murni) mempunyai dua alel yang sama, dominan semua atau resesif semua. Alel dominan disimbolkan dengan huruf besar, sedangkan alel resesif disimbolkan dengan huruf kecil. Contohnya BB untuk pasangan alel bulat dominan dan bb untuk pasangan tidak bulat atau keriput, bersifat resesif.

6. Semua individu F1 adalah seragam.

7. Jika sifat dominan tampak sepenuhnya, maka individu F1 memiliki fenotipe seperti induknya yang dominan.

Jika dominansi tampak sepenuhnya maka perkawinan monohibrid (Tt X Tt), bila T= tinggi, dan t = rendah, menghasilkan keturunan yang memperlihatkan perbandingan fenotipe pada F2 = 3 tinggi : 1 rendah (yaitu $\frac{3}{4}$ tinggi dibanding $\frac{1}{4}$ rendah), tetapi perbandingan genotipenya 1(TT): 2(Tt): 1(tt) (yaitu $\frac{1}{4}$ TT dibanding $\frac{2}{4} Tt \; dibanding \; \frac{1}{4} tt$) .

Jika sifat gen dominan tidak penuh (intermediate) maka fenotipe individu F1 tidak seperti salah satu fenotipe induk galur murni, melainkan mempunyai sifat fenotipe diantara kedua induknya.

Demikian pula perbandingan fenotipe F2nya tidak 3:1, melainkan 1:2:1, sama dengan perbandingan genotipe F2nya.

Dihibrid atau dihibridisasi ialah suatu persilangan (pembastaran) dengan dua sifat beda. Untuk membuktikan Hukum Mendel II yang terkenal dengan prinsip berpasangan secara bebas, Mendel melakukan eksperimen dengan membastarkan tanaman *Pisum sativum* bergalur murni dengan memperhatikan dua sifat beda, yaitu biji bulat berwarna kuning, dengan galur murni berbiji kisut berwarna hijau. Gen R (bulat) dominan terhadap r (kisut), dan Y(kuning) dominan terhadap y (hijau).

Dalam membuat perhitungan itu Mendel menganggap bahwa gen-gen pembawa sifat itu terpisah secara bebas terhadap sesamanya sewaktu terjadi pembentukan gamet. Hukum Mendel II ini disebut juga *Hukum Pengelompokan Gen Secara Bebas.*

Jadi, pada dihibrid RrYy, misalnya:
Gen R mengelompok dengan Y ⟶ gamet RY
Gen R mengelompok dengan y ⟶ gamet Ry
Gen r mengelompok dengan Y ⟶ gamet rY
Gen r mengelompok dengan y ⟶ gamet ry

Angka-angka perbandingan fenotipe F2 monohibrid = 3:1, sedangkan perbandingan fenotipe F2 dihibrid = 9:3:3:1 (Gambar 4.16) Akan tetapi dalam kenyataannya perbandingan yang diperoleh tidak persis seperti angka perbandingan di atas, melainkan mendekati perbandingan 3:1 atau 9:3:3:1.

Misalnya:

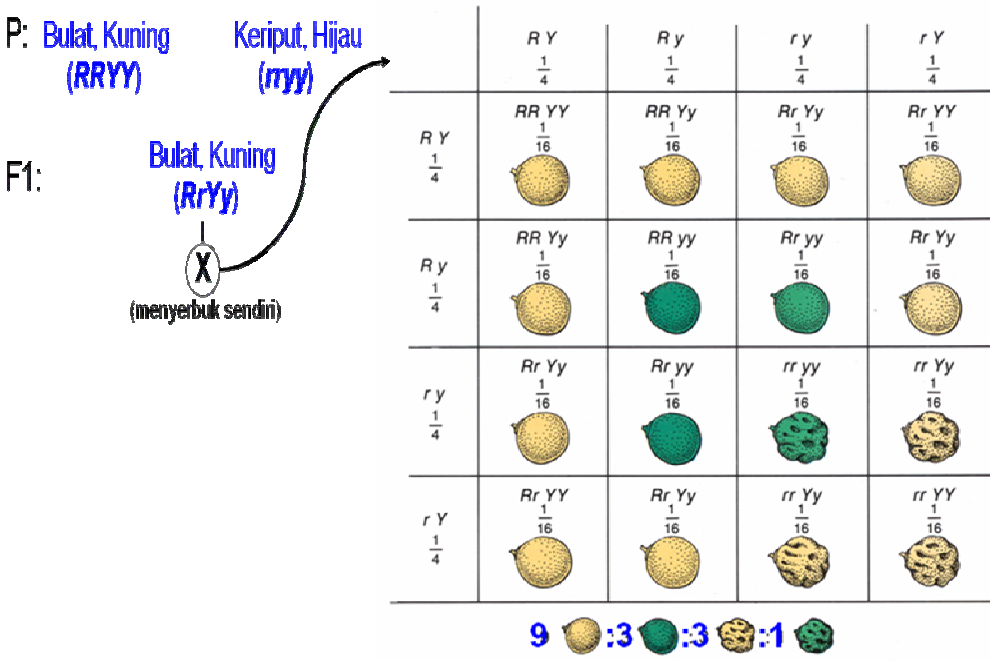
Pada monohibrid diperoleh perbandingan keadaan batang tanaman:

Tinggi	:	pendek
787	:	277
2.814	:	1
3	:	1

Pada dihibrid diperoleh perbandingan:

Bulat kuning	=	315 tanaman
bulat hijau	=	101 tanaman
Kisut kuning	=	108 tanaman
Kisut hijau	=	32 tanaman

Angka-angka tersebut menunjukkan suatu perbandingan mendekati 9:3:3:1.



Gambar 4.16. Persilangan dihibrid menghasilkan perbandingan fenotipe 9 bulat kuning : 3 bulat hijau: 3 keriput kuning: 1 keriput hijau.

Pada dihibridisasi intermediate (dominan tidak penuh) perbandingan fenotipe F1 tidak sama dengan salah satu fenotipe sel induk melainkan mempunyai sifat diantara kedua gen dominan dengan gen resesif. Jika prinsip-prinsip Mendel kita gabungkan, maka dapat kita simpulkan sebagai berikut:

1. *Prinsip hereditas* menyatakan bahwa sifat-sifat makhluk hidup dikendalikan oleh faktor-faktor menurun (gen). Setiap individu berkembang dari zigot yang merupakan penyatuan gamet jantan (spermatozooa) dan gamet betina (ovum). Melalui gamet-gamet inilah informasi genetik dari kedua orang tua atau (induk) diturunkan kepada individu yang dibentuknya. Informasi genetik merupakan struktur nyata yaitu gen yang terkandung dalam kromosom.
2. *Prinsip segregasi bebas:* pada pembentukan gamet pasangan gen memisah secara bebas sehingga tiap gamet mendapatkan salah satu gen dari pasangan gen (alel) tersebut.
3. *Prinsip berpasangan bebas:* pada pembuahan (fertilisasi), gen-gen dari gamet jantan maupun gen-gen dari gamet betina akan berpasangan secara bebas.

4. *Prinsip dominansi penuh atau tidak penuh (intermediate),* fenotipe gen dominan akan menutupi pengaruh gen resesif. Sedangkan pada prinsip dominasi tidak penuh, fenotipe gen pada individu heterozigot berada diantara pengaruh kedua alel gen yang menyusunnya.

Perkawinan resiprok

Prinsip-prinsip Mendel tersebut diatas mudah dibuktikan bila diadakan perkawinan (penyilangan) resiprok. Perkawinan resiprok adalah penyilangan antara tetua harus homozigot dan dari satu individu berperan sebagai gamet jantan dan gamet betina sehingga menghasilkan keturunan.

Back coss dan test cross

Backross adalah perkawinan antara individu F1 dengan salah satu induknya (induk dominan atau induk resesif). Testcross adalah perkawinan F1 dengan salah satu tetua yang bersifat homozigot resesif.

Testcross merupakan perkawinan antara F1 dengan tetua homozigot resesif, disebut juga perkawinan pengujian (uji silang) karena bertujuan mengetahui apakah suatu individu bergenotipe homozigot (galur murni) atau heterozigot. Jika hasil testcross menunjukkan perbandingan fenotipe keturunan yang memisah 1:1, maka dapat disimpulkan bahwa individu yang diuji bukan galur murni, berarti heterozigot. Jika hasil testcross 100% berfenotipe sama berarti individu yang diuji bergenotipe homozigot. Pada masa kini hibridisasi sangat berperan dalam pencarian bibit unggul. Demikian pula penyakit keturunan pada manusia dapat diketahui pewarisannya.

4.3.2. Penyimpangan semu Hukum Mendel (PSHM)

Penyimpangan semu hukum mendel (PSHM) terjadi apabila munculnya perbandingan yang tidak sesuai atau menyimpang dengan dengan Hukum Mendel. Disebut dengan penyimpangan semu karena sebenarnya prinsip segregasi gen bebas tetap berlaku, tetapi karena gen-gen yang membawa sifat memilki ciri tertentu maka perbandingan yang dihasilkan menyimpang dari Hukum Mendel (perbandingannya tidak 3:1 atau 9:3:3:1). Penyimpangan ini meliputi: polimeri, komplementer, epistasis-hipostasis dan pautan gen.

a. Polimeri

Polimeri adalah gen dengan banyak sifat beda yang berdiri sendiri-sendiri, tetapi mempengaruhi bagian yang sama pada suatu makhluk hidup. Untuk memahami peristiwa itu *Nilson-Ehle*

mengadakan percobaan persilangan satu jenis gandum, yaitu gandum bersekam merah dengan gandum bersekam putih.

b. Gen-gen komplementer

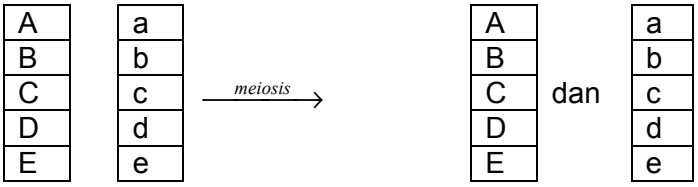
Gen komplementer adalah interaksi antara dua gen dominan, jika terdapat bersama-sama akan saling melengkapi sehingga muncul fenotipe alelnya. Bila salah satu gen tidak ada maka pemunculan sifat terhalang. Contohnya: perkawinan pria bisu tuli dengan wanita bisu tuli, ternyata keturunannya F1 semua normal,

c. *Inhibiting* gen (Epistasis-hipostasis)

Inhibiting gen adalah penyimpangan semu yang terjadi karena terdapat dua gen yang dominan jika bersama-sama pengaruhnya akan menghambat pengaruh salah satu gen dominan tersebut sehingga perbandingan fenotipenya = 13:3.

d . Pautan gen

Gen yang ada dalam setiap makhluk hidup sangat banyak, padahal kromosom yang ada hanya sedikit, hal tersebut dapat mengakibatkan di dalam satu kromosom terdapat lebih dari satu gen. Bila dalam satu kromosom terdapat lebih dari satu gen yang mengendalikan sifat yang berbeda (bukan alelnya) maka peristiwa itu disebut pautan gen (*linkage=berangkai=pautan)*



Pada skema di atas gen A terpaut dengan gen B; B terpaut dengan C; C terpaut dengan gen D; dan D terpaut dengan E pada kromosom yang sama, sedangkan alelnya a terpaut dengan b; b terpaut dengan c; c terpaut dengan d; dan d terpaut dengan e.

Pada pembelahan sel secara meiosis, pembentukan sel gamet kromosom memisah secara bebas sehingga gen-gen yang terletak pada kromosom yang berlainan dapat memisah secara bebas.

Dalam peristiwa meiosis pada gen terpaut seperti diatas akan dihasilkan dua macam gamet dengan susunan gen ABCDE dan abcde, mengapa demikian? Menurut Sutton, gen-gen yang letaknya pada satu kromosom tidak dapat diturunkan secara bebas. Lebih-lebih gen yang berdekatan lokusnya cenderung memisah bersama-sama. Dengan kata lain saling berpaut satu sama lain. Jadi individu dengan genotipe AaBb yang mengalami pautan, akan membentuk dua macam gamet saja, yakni gamet AB dan ab.

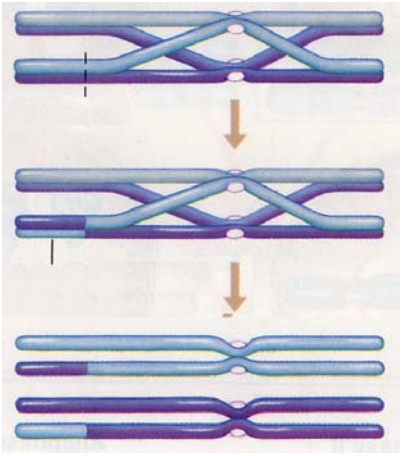
Contoh: pada lalat *Drosophila* dikenal gen-gen
C = gen untuk sayap normal
c = gen untuk sayap keriput (lalat tak dapat terbang)
S = gen untuk dada polos
s = gen untuk dada bergaris-garis.

Misalnya untuk lalat jantan bersayap normal, dada polos homozigotik CCSS dikawinkan dengan lalat betina bersayap keriput, dada bergaris-garis ccss. Lalat-lalat F1 bersayap normal, dada polos heterozigotik CcSs. Oleh karena ada pautan gen maka hibrid ini akan membentuk dua macasm gamet saja, yaitu gamet CS dan gamet cs. Akibatnya pekawinan dua lalat dihibrid tidak akan menghasilkan keturunan F2 dengan perbandingan fenotipe 9:3:3:1 seperti Hukum Mendel, melainkan 3 lalat sayap normal dada polos : 1 lalat sayap keriput bergaris-garis = 3:0:0:1 = 3:1

Jarak antar gen mempengaruhi ke eratan sifat pautan ini. Makin dekat jarak antara gen, maka semakin erat pautan gen. Untuk mengetahui adanya pautan antara dua gen dapat dilakukan testcross**,** yaitu penyilangan individu F1 dengan tetua yang homozigot resesif. Bila dalam *testcross* ternyata kombinasi parental lebih besar 50% dan rekombinasi lebih kecil 50% maka dapat disimpulkan bahwa terjadi pautan gen, persentase pautan merupakan indikator kuat lemahnya pautan gen. Contoh: tanaman mangga berbuah Bulat (BB) dan berkulit Kuning (KK) dominan terhadap mangga berbuah Kisut (bb) warna Hijau (kk). Bila B dan K tidak terpaut demikian pula gen b dan k, maka dari persilangan induk BBKK dengan bbkk akan diperoleh F1 dengan fenotipe Bulat Kuning (BbKk).

4.3.3. Pindah silang (Crossing over)

Pembentukan sel gamet jantan dan betina terjadi selama pembelahan meiosis. Pada profase meiosis I, masing-masing kromosom mengganda menjadi dua kromotid. Pada saat itulah terjadi peristiwa pindah silang (**crossing over**); yaitu pertukaran segmen kromatid-kromatid dari pasangan kromosom homolog. Tempat persilangan dua kromatid disebut **kiasma**(Gambar 4.18). Kromatid yang bersilang melekat dan terputus di bagian kiasma. Setiap potongan kemudian melekat pada kromatid sebelahnya secara timbal balik, sehingga akan diperoleh empat macam gamet. Dua macam gamet yang memiliki gen seperti induknya (parental) disebut gamet tipe parental.



Gambar 4.18. Pindah silang pada kiasma.

Dua macam gamet lainnya nerupakan gamet yang berbeda dengan induknya. Gamet ini merupakan hasil peristiwa pindah silang, sehingga disebut gamet rekombinasi. Gamet tipe parental tidak mengalami pindah silang sehingga dibentuk dalam jumlah yang lebih banyak. Gamet rekombinasi jumlahnya lebih sedikit, akibatnya adalah keturunan yang memiliki sifat seperti parental selalu lebih banyak dibanding dengan keturunan tipe rekombinasi. Terdapat dua macam peristiwa pindah silang, yaitu pindah silang tunggal dan pindah silang ganda.

Pindah silang tunggal terjadi pada satu tempat. Pindah silang ganda terjadi di dua tempat atau lebih. Dengan terbentuknya keturunan tipe parental dan rekombinasi besarnya nilai pindah silang (NSP) dapat dihitung. NSP adalah angka yang menunjukkan besarnya persentase kombinasi baru yang dihasilkan akibat terjadinya pindah silang. Percobaan Morgan dan Bridges pada lalat *Drosophila melanogaster* menunjukkan tidak adanya pindah silang pada lalat jantan. Jika pada uji silang digunakan lalat jantan dihibrid, maka hanya dihasilkan dua macam fenotipe saja yang mirip lalat tipe parental. Jika digunakan lalat betina dihibrid akan dihasilkan lalat tipe parental dan rekombinasi.

4.3.4. Penentuan jenis kelamin (determinasi seks)

Jenis kelamin pada makhluk hidup dibedakan atas jantan dan betina. Tetapi di alam juga terdapat tumbuhan dan hewan tingkat tinggi yang hemafrodit. Artinya dalam tubuh makhluk hidup tersebut dapat dihasilkan gamet jantan dan betina. Terjadinya perbedaan seks pada makhluk hidup dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan.

a. Faktor genetik
   Faktor genetik ditentukan oleh komposisi kromosom yang mengandung bahan genetik.

b. Faktor lingkungan
   Faktor lingkungan biasanya ditentukan oleh keadaan fisiologis. Bila kadar hormon kelamin dalam tubuh tidak seimbang dapat mempengaruhi penampilan fenotipenya sehingga jenis kelamin suatu makhluk dapat berubah.

4.3.5. Kromosom gamet

Pada tahun 1891, Henking seorang ahli biologi bangsa Jerman mengawali penelitian tentang hubungan kromosom dengan jenis kelamin. Dalam penelitian yang dilakukan pada spermatogenesis beberapa serangga, dia berhasil ditemukan suatu struktur di dalam inti sel yang dinamakan "badan X". Henking menyatakan, setengah jumlah kromosom pada sperma serangga mengandung struktur tersebut. Penelitian tersebut dilanjutkan pada tahun 1902 oleh McClung terhadap belalang. Pada penelitian itu tidak ditemukan badan X berhubungan dengan penentuan jenis kelamin. Penelitian-penelitian selanjutnya menghasilkan kesimpulan bahwa badan X adalah sebuah kromosom. Oleh sebab itu badan X disebut sebagai kromosom X. beberapa tipe penentuan jenis kelamin yang dikenal adalah sebagai berikut:

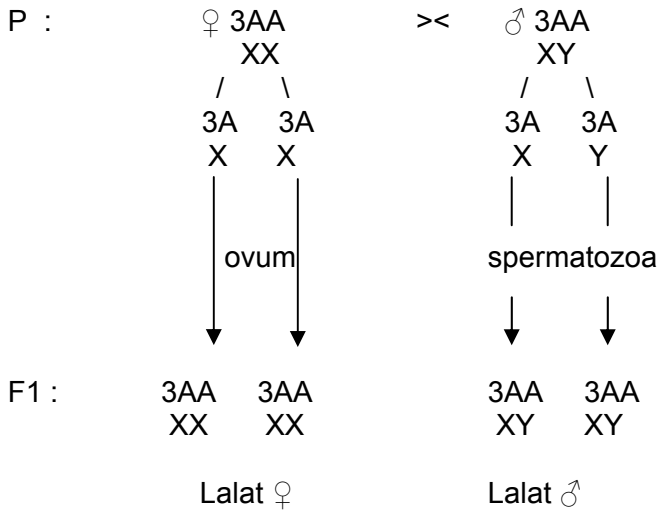
a. Tipe XY, misalnya pada lalat buah, manusia dan mamalia.

Pada lalat buah, sel tubuhnya hanya memiliki 8 kromosom (4 pasang). Delapan kromosom yang ada dalam inti sel itu dibedakan atas 6 buah kromosom (3 pasang) yang bentuknya sama pada jantan maupun betina, disebut **autosom** (kromosom tubuh) disingkat A. Adapun kromosom lainnya disebut kromosom seks (**gonosom**) sebab anggota dari sepasang kromosom ini tak sama bentuknya antara lalat jantan dan betina.

Pada lalat betina, kedua kromosom X berbentuk batang lurus dan diberi simbol XX, sedangkan kromosom lalat jantan memiliki sebuah kromosom X berbentuk batang dan sebuah kromosom Y yang lebih pendek dan ujungnya membengkok diberi simbol XY. Karena lalat betina memiliki dua kromosom sejenis (yaitu kromosom X) maka dikatakan bersifat **homogametik** dan lalat jantan dikatakan bersifat **heterogametik** karena memiliki kromosom X dan kromosom Y.

Dengan dasar di atas maka kromosom lalat *Drosophila* dapat ditulis untuk lalat betina = AAXX dan lalat jantan =AAXY. Dalam keadaan normal, lalat betina membentuk satu macam sel telur

haploid (AX). Sedangkan lalat jantan membentuk dua macam spermatozoa yang membawa kromosom X (AX) dan yang membawa kromosom Y (AY). Bila spermatozoa yang membawa kromosom Y membuahi ovum akan dihasilkan anak lalat jantan (AAXY). Perhatikan diagram di bawah ini :



Dengan demikian kariotip dari setiap sel tubuh lalat buah adalah:
* lalat betina 6A+XX atau 3AA+XX
* lalat jantan 6A+XY atau 3AA+XY

Pada meiosis lalat betina menghasilkan satu macam gamet dengan kariotipe 3A+X sedangkan lalat jantan menghasilkan dua macam gamet dengan kariotipe 3A+X dan 3A+Y.

Pada manusia kromosom dibedakan menjadi kromosom tubuh (autosom) dan kromosom gamet (gonosom). Setiap sel tubuh manusia mengandung 46 kromosom terdiri dari 44 (22 pasang) autosom dan 2 gonosom (1 pasang). Pada wanita kromosom kelamin berupa dua kromosom X, sedangkan pada pria sebuah kromosom X dan sebuah kromosom Y, sehingga pada manusia normal kromosom dapat ditulis sebagai berikut:

1. Cara lama berdasarkan kongres genetika internasional di Denver, USA tahun 1960, wanita = 22AA XX dan pria = 22 AA XY.

2. Cara baru berdasarkan kongres genetika international di Paris, Perancis tahun 1971; wanita = 46, XX dan pria= 46, XY. Kromosom manusia berjumlah 46 dapat diklasifikasikan berdasarkan ukurannya mulai dari yang terpanjang hingga terpendek, sehingga terbentuk sebuah **kariotipe.**

b. Tipe XO, berlaku bagi banyak jenis serangga misalnya serangga. Serangga betina memiliki dua buah kromosom X sehingga disebut XX, sedangkan serangga yang jantan hanya memiliki kromosom X saja sehingga disebut XO. *Drosophila* XO merupakan lalat jantan steril, tetapi belalang berkromosom XO adalah jantan fertil.

c. Tipe ZW misalnya pada burung, kupu-kupu dan lain-lain. Pada tipe ini yang heterogametik adalah betina sedangkan yang jantan homogametik. Untuk menghindari kekeliruan dengan tipe XX-XY maka pada tipe ini dipakai Z dan W. jadi burung betina adalah ZW (atau XY) sedangkan burung jantan ZZ (atau XX).

d. tipe Haplo-diploid, misalnya pada serangga. Pada tipe ini makhluk hidup yang memiliki kromosom haploid adalah betina dan yang diploid adalah jantan.

e. tipe ZO, berlaku pada unggas (ayam, itik, dan sebagainya). Pada tipe ini yang heterogametik adalah hewan betina, tetapi hanya memiliki sebuah kromosom gamet saja (ZO atau XO), sedangkan yang jantan homogametik (ZZ atau XX).

4.3.6. Pautan Seks

Setiap makhluk hidup memiliki dua macam kromosom, yaitu autosom dan kromosom gamet (gonosom). Pewarisan sifat dari induk kepada anak-anaknya ditentukan oleh gen pada autosom tanpa membedakan jenis kelamin, misalnya warna mata, warna rambut, albino dan sebagainya. Selain gen autosomal, ada juga gen yang terdapat pada kromosom gamet yang disebut pautan seks (*sex lingkage)*.

Gen-gen yang terangkai pada kromosom gamet disebut gen terpaut kelamin/seks (*sex linked gene)*, yang dapat dibedakan menjadi gen terpaut-X (X-linked gene) dan gen terpaut-Y (*Y-linked gene)*.

a. Pautan seks pada Drosophila melanogaster

Peristiwa yang menunjukkan adanya hubungan antara sifat keturunan dan sifat kelamin telah diketahui sejak tahun 600 SM. Misalnya peristiwa darah sukar membeku pada luka yang diderita anak laki-laki. Pada tahun 1901, Morgan berhasil menemukan adanya pautan seks melalui percobaan dengan menggunakan lalat *Drosophila melanogaster*. Morgan mengawinkan lalat jantan bermata putih dengan lalat betina normal (bermata merah?) ternyata semua lalat F1 bermata merah, sedangkan F2

memperlihatkan semua perbandingan $\frac{3}{4}$ bermata merah dan $\frac{1}{4}$ bermata putih, selain itu lalat F2 yang bermata merah adalah betina. Setengah jumlah lalat jantan bermata merah dan setengah lagi bermata putih. Dengan kata lain, semua keturunan yang bermata putih adalah jantan.

b. Pautan seks pada manusia

Sekitar 150 sifat keturunan pada manusia yang kemungkinan besar disebabkan oleh gen-gen tersebut-X, misalnya buta warna, hemofilia, dan anadontia.

a. Buta Warna

1. Buta warna merah hijau

   Buta warna ini disebabkan atas:

   a. Buta warna deutan, apabila yang rusak atau lemah bagian mata yang peka terhadap warna hijau.

   b. buta warna protan, apabila yang rusak atau lemah bagian mata yang peka terhadap warna merah. Buta warna deutan lebih sering dijumpai daripada buta warna protan.

2. Buta warna total

   Penderita buta warna total hanya melihat warna hitam dan putih. Buta warna disebabkan oleh gen resesif c (dari kata "*colour blind")* yang terpaut kromosom X. Seorang wanita memiliki dua kromosom X, maka kemungkinannya adalah seorang wanita dapat normal homozigot (X^CX^C), normal heterozigot (X^CX^c), atau buta warna homozigot (X^cX^c). Seorang pria memiliki sebuah kromosom X, sehingga kemungkinannya hanya normal (X^CY) atau buta warna (X^cY).

   Perhatikan diagram di bawah mengenai perkawinan antara seorang pria buta warna dengan wanita normal homozigot. Sifat buta warna yang dimiliki ayah akan diwariskan kepada seluruh anaknya yang perempuan. Tidak satupun anaknya yang laki-laki menderita buta warna dan seluruh anaknya perempuan normal *carrier (*pembawa sifat buta warna).

P	:	♀ $X^C X^C$	><	♂ $X^c Y$
		(normal)		(buta warna)
Gamet	:	X^C		X^c ; Y
F1	:	$X^C X^c$ = perempuan normal (*carrier*)		
		$X^C Y$ = laki-laki normal		

Bagaimanakah jika keadaannya terbalik? Perkawinan antara pria normal (X^CY) dengan wanita buta warna ($X^c X^c$), maka semua anak perempuan normal tetapi *carier* ($X^C X^c$) dan anak laki-laki semuanya buta warna. Perhatikan diagram berikut !

P : ♀ $X^c X^c$ >< ♂ $X^C Y$
(buta warna) (normal)
Gamet : X^c X^C ; Y
F1 : $X^C X^c$ = perempuan normal (*carrier*)
$X^c Y$ = laki-laki buta warna

Pada bagian diagram ini, tampak bahwa sifat ayah (normal) diwariskan kepada semua anak perempuan, sedangkan sifat ibu (buta warna) diwariskan kepada semua anak laki-laki. Cara pewarisan ini disebut cara pewarisan bersilang (*criss-cross inheritance*) yang merupakan ciri khas bagi pewarisan gen-gen terpaut-X.

Pada dua contoh diatas, semua anak perempuan normal tetapi pembawa (*carrier*) gen resesif buta warna. Bagaimanakah bila anak perempuan yang normal tetapi *carrier* melakukan perkawinan dengan laki-laki buta warna? Perhatikan diagram berikut!

P : ♀ $X^C X^c$ >< ♂ $X^c Y$
(normal) (buta warna)
(*carrier*)
Gamet : X^C, X^c X^c; Y

F1 : $X^C X^c$ = perempuan normal (*carrier*) = 25%
$X^c X^c$ = perempuan buta warna = 25%
$X^C Y$ = Laki-laki normal = 25%
$X^c Y$ = Laki-laki buta warna = 25%

b. Hemofilia

Hemofilia adalah suatu penyakit keturunan yang mengakibatkan seseorang yang terluka darahnya sukar membeku. Bila orang normal mengalami luka, darahnya akan segera mambeku dalam waktu 5-7 menit, sedangkan penderita hemofilia darahnya baru akan membeku antara 20 menit hingga 2 jam. Sehingga dapat mengakibatkan kematian karena kehabisan darah.

Hemofilia semula dikenal di negara-negara Arab. Akan tetapi rahasia pewarisan penyakit ini baru terbuka ketika salah satu putra mahkota kerajaan inggris meninggal dunia karena hemofilia. Penyelidikan selanjutnya menunjukkan bahwa gen resesif diwariskan dari Ratu Victoria yang merupakan *carrier* untuk hemofilia dalam keluarganya. Hemofilia disebabkan oleh gen resesif yang terpaut seks pada kromosom X. Gen H menyebabkan sifat normal pada darah, dan gen h menyebabkan hemofilia seperti pada Tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5. Gamet perempuan dan laki-laki penderita hemofilia

Jenis kelamin	Normal	Hemofilia
Perempuan	X^HX^H, X^HX^h *(carrier)*	X^hX^h
Laki-laki	X^HY	X^hY

Perhatikan diagram perkawinan berikut ini:

1. Perkawinan antara wanita normal homozigot (X^HX^H) dengan pria hemofilia (X^hY).

   P : ♀ X^HX^H >< ♂ X^hY
   (normal) (buta warna)
   Gamet : X^H X^h ; Y
   F1 : X^HX^h = perempuan normal (*carrier,pembawa hemofili*)
   X^HY = laki-laki normal

   Dari perkawinan dihasilkan 50% anak perempuan normal *carrier* dan 50% anak laki-laki normal.

2. Perkawinan antara wanita *carrier* dengan pria hemofilia.

   P : ♀ X^HX^h >< ♂ X^hY
   (carrier hemofilia) (hemofilia)
   Gamet : X^H : X^h X^h ; Y
   F1 : X^HX^h = 25% perempuan normal (*carrier*)
   X^hX^h = 25% peremnpuan hemofilia (letal)
   X^HY = 25% Laki-laki normal
   X^hY = 25% Laki-laki hemofilia

3. Perkawinan antara wanita *carrier* dengan pria normal.

   P : ♀ X^HX^h >< ♂ X^HY
   (carrier) (normal)
   Gamet : X^H ; X^h X^H ; Y
   F1 : X^HX^H = 25% perempuan normal
   X^HX^h = 25% perempuan *carrier*
   X^HY = 25% laki-laki normal
   X^hY = 25% laki-laki hemofilia

   Dari diagram-diagram diatas dapat disimpulkan bahwa:

1. Laki-laki hemofilia lahir dari perkawinan wanita *carrier* dengan pria normal atau pria hemofilia.
2. Seorang ayah yang hemofilia mewariskan sifat hemofilianya kepada anak perempuannya.
3. Tidak ada wanita hemofilia yang bertahan hidup, tetapi wanita normal yang membawa sifat hemofilia (*carrier*).

c. Anadontia

Anadontia merupakan kelainan menurun (herediter) yang disebabkan oleh gen resesif pada kromosom X. penderita anadontia tidak memiliki benih gigi di dalam tulang rahangnya, sehingga gigi tidak akan tumbuh. Kelainan ini lebih sering dijumpai pada pria. Alel dominan A menentukan orang yang bergigi normal, alel resesif a menetukan orang yang anadontia.

d. Sindroma lesch-Nyhan

Penyakit ini timbul karena adanya pembentukan purin yang berlebihan, terutama basa guanin. Karena penderita tak mampu membentuk enzim Hipoxantin Guanin Phospho Ribosil Transferase (HGPRT) yang akan menyebabkan semakin aktifnya enzim Adenine Pospho Ribosil Transferase (APRT). Penderita menjadi abnormal, misalnya kejang otot menggeliatkan anggota kaki dan tangan, tuna mental, suka menggigit bibir serta merusak jari-jari tangan, sukar menelan, dan sering muntah.

e. Hidrosefali terpaut-X

Hidrosefali adalah penyakit yang ditandai dengan kepala membesar akibat penimbunan cairan serebrospinal di dalam otak. Sesungguhnya ada 9 penyakit keturunan yang menunjukkan hidrosefali, tetapi hanya satu yang disebabkan gen resesif terpaut-X. Bickers dan Adams (1949) melaporkan adanya suatu keluarga yang selama dua generasi memiliki 7 bayi laki-laki penderita hidrosefali. Dalam keadaan normal, cairan serebrospinal berguna menjaga gangguan otak dari goncangan, tetapi bila cairan ini terlalu banyak menyebabkan tekanan pada otak yang dapat merusak jaringan otak sehingga penderita dapat meninggal dunia.

f. Gigi cokelat

Gigi cokelat disebabkan oleh gen dominan B terpaut kromosom X. Alel resesif gen b menentukan gigi normal. Biasanya gigi cokelat mudah rusak karena kurang email. Contoh kasus, perkawinan pria bergigi cokelat dengan wanita bergigi normal maka kemungkinan keturunannya adalah semua anak perempuan bergigi cokelat dan semua anak laki-

laki bergigi normal. Disini tampak adanya *criss cross inheritance* (pewarisan gen bersilang).

Perhatikan diagram di bawah ini:

P : ♀ X^bX^b >< ♂ X^BY
(gigi normal) (gigi cokelat)
Gamet : X^b X^B ; Y
F1 : X^BX^b = perempuan , gigi cokelat
X^bY = laki-laki , gigi normal

c. Pautan seks pada mamalia

Penentuan jenis kelamin pada mamalia sama dengan manusia, yaitu mengikuti sistem XY. Oleh karena itu hewan betina adalah XX, dan hewan jantan adalah XY. Contoh: gen yang menentukan warna rambut kucing terpaut pada kromosom X, yaitu:
B = gen yang menentukan warna hitam
b = gen yang menentukan warna kuning.
Bb = genotipe untuk kucing belang tiga.

Perkawinan antara kucing jantan berwarna kuning dengan betina berwarna hitam homozigot akan menghasilkan keturunan sebagai berikut:
- kucing betina belang tiga (hitam, kuning, putih) disebut kucing calico
- kucing jantan hitam

Jika persilangan dilanjutkan maka akan dihasilkan F2:
- 25% kucing betina hitam, 25% kucing betina calico.
- 25% kucing jantan hitam, dan 25% kucing jantan kuning.

Pada umumnya kucing calico adalah betina, jarang dijumpai berjenis kelamin jantan. Penah ada kucing jantan calico yang terjadi karena peristiwa *nondisjunction* (gagal berpisah) sehingga berkromosom XXY dan steril.

d. Pautan Seks Pada Ayam

Penentuan jenis kelamin pada ayam mengikuti tipe ZW. Ayam betina ZW dan ayam jantan ZZ. Pada ayam dikenal gen-gen terpaut pada kromosom seks, misalnya :
B = gen untuk bulu bergaris-garis (blorok)
b = gen untuk bulu polos

Perkawinan antara ayam jantan berbulu polos dengan ayam betina blorok akan menghasilkan keturunan berupa ayam jantan blorok dan ayam betina blorok

4.3.7. Gen letal

Gen letal adalah gen yang dalam keadaan homozigot menyebabkan kematian individu. Adanya gen letal pada suatu individu menyebabkan perbandingan fenotipe dalam keturunan menyimpang dari hukum Mendel. Gen letal terdiri atas gen dominan letal dan resesif letal.

a. Gen dominansi letal

Gen dominan letal adalah gen dominan yang bila dalam keadaan homozigot akan menyebabkan individu mati. Contoh :

Ayam "creeper"

Pada ayam ras dikenal adanya C = gen untuk ayam *creeper* (tubuh normal, kaki pendek); c = gen untuk ayam normal. Gen dominansi C bila hozigot CC berakibat letal, sehingga perkawinan 2 ayam *creeper* akan menghasilkan keturunan dengan perbandingan 2 *creeper* : 1 normal.

Perhatikan persilangan berikut:

P : ♀ Cc >< ♂ Cc
(*creeper*) (*creeper*)
Gamet : C ; c C ; c
F1 : CC = Letal (mati)
Cc = *creeper*
Cc = *creeper*
cc = normal

Jadi perbandingan fenotipe keturunannya *creeper* : normal = 2:1

Tikus kuning

Pada tikus dikenal beberapa gen sebagai berikut :
A^* = warna kuning atau ada yang menggunakan simbol A^Y
a = warna hitam
Genotipe A^*A^* berakibat letal, tikus mati pada waktu embrio.
Tikus A^*a adalah kuning, sedangkan aa hitam.

Perkawinan 2 ekor tikus kuning menghasilkan keturunan dengan perbandingan 2 kuning : 1 hitam.

P : ♀ A^*a >< ♂ A^*a
(kuning) (kuning)
Gamet : A^* ; a A^* ; a

F1 : A^*A^* = letal (mati)
A^*a = kuning
A^*a = kuning

aa = hitam

Perbandingan fenotipe keturunannya adalah: kuning: hitam = 2:1

Penyakit "Huntington's Chorea/Huntington's Disease"

Penyakit "*Huntington's Chorea"* diperkenalkan pertama kali oleh **Waters** pada tahun 1848, kemudian oleh **Lyon** pada tahun 1863. Gejala penyakit ini adalah penderita menunjukkan gejala abnormal, kejang-kejang, dan sering membuang barang yang dipegangnya tanpa disadari. Sistem saraf buruk dan sel-sel otak rusak sehingga menyebabkan depresi, sehingga tak jarang pasien bunuh diri.

Penyakit ini disebabkan oleh gen dominan letal H. Orang yang genotipenya homozigot HH mula-mula tampak normal, tetapi umumnya mulai umur 25 tahun memperlihatkan gejala penyakit ini. Orang yang heterezigot Hh juga sakit tetapi tidak parah, sedangkan yang bergenotipe hh adalah normal.

Pada tahun 1872, makalah tentang penyakit ini dibawakan oleh **George Huntington** dan kini penyakit ini lebih dikenal sebagai *Huntington's Disease* atau disingkat HD.

b. Gen resesif letal

Gen resesif letal ialah gen resesif yang bila homozigot akan menyebabkan kematian individu. Contohnya: tanaman jagung berdaun putih dan penyakit *ichtyosis congenital.*

Tanaman jagung

Pada jagung (*Zea mays*) berdaun putih dikenal gen-gen :

G = membentuk klorofil (zat hijau daun).

g = tidak membentuk klorofil bila dalam keadaan homozigot resesif (gg), sehingga daun kecambah tidak dapat menjalankan fotosintesis, dan kecambah mati dalam beberapa hari.

Perhatikan diagram berikut ini:

P : ♀ Gg >< ♂Gg
(hijau) (hijau)
Gamet : G ; g G ; g

F1 : GG = hijau = 1
Gg = hijau = 1
Gg = hijau = 1
gg = putih = 1 (mati)

Dengan berperannya gen letal resesif pada tanaman jagung menyebabkan persilangan dua tanaman berdaun hijau heterozigot menghasilkan keturunan dengan perbandingan 3 berdaun hijau dan nol tanaman berdaun putih. Tanaman berdaun putih mati akibat tidak dapat menjalankan fotosintesis.

Ini artinya gen resesif letal tidak menghasilkan keturunan dengan tidak menghasilkan keturunan dengan perbandingan seperti Hukum Mendel.

c. *Ichtyosis Congenital*

Ichtyosis Congenital merupakan penyakit keturunan pada manusia yang berakibat kematian (letal). Ini terjadi karena bayi lahir berkulit tebal, banyak luka berupa sobekan terutama daerah lekukan, biasanya bayi mati dalam kandungan/sewaktu lahir.

Sifat letal disebabkan adanya gen homozigot resesif, sedangkan alel dominan I menentukan bayi normal. Perkawinan dua menentukan F1, yang normal semua karena keturunan yang homozigot (Ii) dapat hidup normal sedangkan yang homozigot (ii) letal sewaktu di dalam kandungan/waktu lahir. Perhatikan diagram!

P	:	♀ Ii	><	♂Ii
		(normal)		(normal)
Gamet	:	I ; i		I ; i
F1	:	II = normal		
		Ii = normal		
		Ii = normal		
		ii = *Ichtyosis Congenital* (letal).		

E. Hereditas pada manusia

Sifat-sifat manusia diturunkan pada keturunannya mengikuti pola pewarisan sifat tertentu. Sifat yang diturunkan ada yang tidak merugikan (normal). Sifat turunan yang akan dibahas adalah cacat dan penyakit bawaan serta golongan darah.

Cacat dan penyakit bawaan dapat diwariskan melalui gen. Fenomena kelainan fisik pada manusia semakin lama semakin banyak jumpai. Kelainan fisik ini berupa penyakit atau cacat bawaan. Penyakit ini bukan disebabkan infeksi kuman penyakit, melainkan diwarisi dari orang tua melalui gen. Penyakit genetik ini tidak menular, dan dapat diusahakan agar terhindar.

Pada umumnya, penyakit genetik dibawa oleh gen yang bersifat resesif. Jadi, akan muncul sebagai suatu penyakit atau cacat bila dalam keadaan resesif homozigot seperti pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Sifat-sifat yang diturunkan dan ekspresinya.

Sifat	Dominan	Resesif
Rambut	Keriting	Lurus
Warna rambut	Cokelat tua	Warna lain
Rambut tubuh	Kasar	Halus
Rambut kepala	Botak (laki-laki)	Botak (wanita)
Warna kulit	Normal	Albino
Warna bola mata	Cokelat	Biru (abu-abu)
Penglihatan	Rabun jauh (dekat)	Normal
Penglihatan	Normal	Buta warna
Ukuran bibir	Lebar	Tipis
Ukuran mata	Besar	Sipit
Pendengaran	Normal	Tuli

Untuk keadaan gen yang heterozigot, individu yang bersangkutan tidak menampakkan kelainan atau penyakit. Individu yang demikian dikatakan sebagai pembawa sifat (*carrier*). Individu yang bersifat *carrier* walaupun meampakkan fenotipe normal, dapat mewariskan sifat yang negatif kepada generasi selanjutnya.
Cacat bawaan ada yang diturunkan lewat kromosom kelamin atau kromosom tubuh.

1. Cacat bawaan yang terpaut kromosom tubuh (autosom)
   Cacat tersebut dibagi menjadi dua, yaitu sebagai berikut :
   a. Cacat bawaan terpaut kromosom tubuh yang resesif.
      Cacat ini meliputi albino, hemofilia, botak, sistis fibrosis, fenilketonuria (fku),Tay sach, schizofreni, anemia sel sabit (*sickle cell*), dan thalasemia.

   b. Cacat bawaan terpaut kromosom tubuh yang dominan.
      Penyakit ini meliputi sindaktili, polidaktili, brakidaktili, hipertensi, dan Huntington.

2. Cacat bawaan yang terpaut kromosom kelamin
   Cacat bawaan tipe ini biasanya bersifat resesif. Contohnya adalah buta warna dan hemofilia. Berikut ini akan kita bahas beberapa penyakit yang diturunkan.

   a. *Albino*
      Penderita albino ditandai dengan proses pigmentasi yang tidak normal pada kulit dan bagian tubuh yang lain. Penderita albino mudah silau, karena matanya sangat peka terhadap sinar yang memiliki intensitas tinggi, seperti sinar matahari. Selain itu penderita albino juga memiliki kelemahan pada

jaringan saraf mata dibandingkan dengan orang normal untuk memfokuskan sinar. Kemampuan memfokuskan sinar ke dalam bola mata kurang lebih 60%. Mata juga tampak kemerahan karena pembuluh darah tampak jelas.

Penderita albino yang hidup di daerah beriklim dingin tidak terlalu bermasalah, akan tetapi bila hidup daerah beriklim tropis sangat mungkin terkena kelainanan kulit yang berbahaya. Disamping keadaan fisik yang menganggu, penderia albino juga mengalami beban mental dalam kehidupannya sehari-hari.

Jika kedua orang tua merupakan penderita albino, maka dapat dipastikan akan melahirkan anak-anak yang albino. Akan tetapi, jika salah satu orang tua normal homozigot maka anak-anaknya akan normal. Jika kedua orangtuanya heterozigot, maka peluang anaknya sebagai penderita albino ada 25 %.

Perhatikan diagram berikut

Bila gen P = normal

$_P$ = albino

P : P_P >< P_P

Gamet : P dan $_P$ P dan $_P$

F1 : PP, P_P, P_P dan $_{PP}$

Normal : Albino

(75%) (25%)

Pederita albino juga dapat dilahirkan oleh orang tua normal carrier albino dan lainnya menderita albino :

P : Pp >< pp

Gamet : P dan p p

F1 : Pp dan pp

Normal (50%) dan albino (50%)

Untuk mengetahui apakah seseorang normal pembawa sifat albino, secara fisik memang tidaklah mudah, satu-satunya jalan adalah dengan menggunakan peta silsilah.

b. Brakidaktili, Sindaktili, dan Polidaktili

Cacat ini menyerang jari kaki dan tangan. Brakidaktili adalah cacat yang menyebabkan jari-jari menjadi pendek. Sindaktili adalah cacat yang menyebabkan jari-jari tangan atau kaki saling berlekatan. Polidaktili adalah cacat yang menyebabkan jumlah jari lebih dari 5.

c. Buta warna

Penderita buta warna dapat mewarikan sifat buta warna dari orng tuanya, meskipun keadaan lahiriah kedua orang tua normal. Pewarisan buta warna ini disebabkan oleh gen yang terpaut kromosom X. Gen-gen tersebut bersifat resesif ini berpasangan dengan kromosom X, tidak menyebabkan buta warna, tetapi individu yeng bersangkutan membawa sifat buta (*carrier*).

Apabila gen resesif berpasangan dengan kromosom y akan menyebabkan pria buta warna. Untuk lebih jelasnya perhatikan genotipe dan fenotipe berikut :

Genotipe XX : menunjukkan wanita normal.
Genotipe $X^{cb}X$: menunjukkan wanita *carrier* buta warna
Genotipe $X^{cb}X^{cb}$: menunjukkan wanita buta warna
Genotipe X Y : menunjukkan laki-laki normal
Genotipe $X^{cb}Y$: menunjukkan laki-laki buta warna.

Jika pasangan suami istri yang istrinya normal tetapi *carrier* sedangkan suaminya normal, maka keturunan (anak-anaknya) adalah sebagai berikut

P : $X^{cb}X$ >< X Y
Gamet : X^{cb} ; X X ; Y
F1 : 25% XX (wanita normal),
25% $X^{cb}X$ (wanita pembawa),
25 % XY (laki-laki normal)
25 % $X^{cb}Y$ (laki-laki buta warna)

Kemungkinannya adalah 3 anak normal dan 1 anak buta warna. Yang buta warna adalah anak laki-lakinya, sedangkan semua anak wanitanya normal. Wanita yang *carrier* buta warna memiliki penglihatan yang normal, tetapi sifat buta warna ini akan muncul pada keturunannya.

Bila ayah dan ibu buta warna maka dapat dipastikan semua anak-anaknya menderita buta warna

P : $X^{cb}X^{cb}$ >< $X^{cb}Y$
Gamet : X^{cb} X^{cb} X^{cb} ; Y
F1 : $X^{cb}X^{cb}$ = wanita buta warna (50%)
X^{cb} Y = pria buta warna (50%)

Buta warna dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

a. *Buta warna sebagian (parsial)* yaitu buta warna yang tidak dapat membedakan warna-warna tetentu saja,

misalnya tidak dapat membedakan warna merah dan hijau.

b. *Buta warna total (akromatisme)*, yaitu penderita yang tidak mampu membedakan semua warna, kecuali dasar hitam dan putih.

d. Hemofilia

Hemofilia adalah sifat ketidakmampuan darah untuk membeku. Apabila penderita hemofilia terluka dan terjadi pendarahan, darah sukar membeku sehingga penderia kehilangan banyal darah dan dapat berakibat fatal. Seperti juga buta warna, hemofilia tergolong penyakit herediter yang terpaut kromosom kelamin (*seks linkage*).

Mortalitas penderita hemofilia tergolong tinggi terutama pada anak-anak. Bila pria penderita hemofilia bertahan hidup dan selamat hingga perkawinan, maka dia akan menurunkan anak-anak wanita yang normal namun membawa sifat hemofilia. Kemudian anak-anak wanita keturunannya ini akan menurunkan hemofilia kepada sebagian anak laki-lakinya, sehingga sebagian anak laki-lakinya ada yang menderita hemofilia.

Penyakit hemofili ada 2 jenis :

a. *Hemofilia A*, yaitu penderita tidak memiliki faktor pembeku darah yang disebut FAH (faktor anti hemofilia) atau fakta VIII.
b. *Hemofilia B*, yaitu penderita tidak memiliki faktor KPT (Komponen Plasma Tromboplastin).

e. Anemia Sel Sabit (*Sickle Cell*)

Kelainan ini disebabkan oleh agen homozigot dominansi seperti Tabel 4.7. dibawah ini.

Tabel 4.7. Genotipe dan fenotipe penderita *Sickle Cell*

Genotipe	Fenotipe	Keterangan
SS	Anemia sel sabit	Mati sebelum dewasa
Ss	*Carrier anemia* sel sabit	Tidak menderita anemia
Ss	Normal	Sehat

Pada penderita anemiasel sabit ini, HbS (*Hemoglobin sickle cell*) mengendap pada daerah tertentu di erotrosit sehingga erotrosit bentuknya seperti bulan sabit dan affinitas terhadap oksigen rendah.

f. Golongan darah

Bagian ini akan bahas penggolongan darah dari segi hereditas.

**) Golongan darah sistem ABO*

Tinjauan secara genetika menurut hipotesis Bernstein (Jerman) dan Furuhata (Japan) pada tahun 1925 adalah bahwa golongan darah ditentukan oleh tiga macam alelnya, yaitu : I^A, I^B dan I^O (I = isoagglutinogen). Ada empat macam fenotipe golongan darah , yaitu: golongan darah A, B, AB dan O (lihat Tabel 4.8). Contoh perkawinan antara suami yang bergolongan darah AB dengan istri yang bergolongan darah O, kemungkinan golongan darah anak-anaknya adalah berikut ini:

P	:	AB	><	O
Genotipe	:	I^AI^B		I^OI^O
Gamet	:	I^A ; I^B		I^O ; I^O
F1	:	$I^A I^O$	= golongan darah A = 50%	
		I^BI^O	= golongan darah B = 50%	

Jadi anak-anaknya memiliki kemungkinan bergolongan darah A (50%) dan bergolongan darah B (50%), jadi persentasenya sama.

Tabel 4.8. Fenotipe dan Genotipe golongan darah sistem ABO

Fenotipe	Genotipe homozigot	Genotipeheterozigot
AB		I^AI^B
A	I^AI^A	I^AI^O
B	I^BI^B	I^BI^O
O	I^OI^O	–

4.4. Mutasi

Mutasi adalah perubahan organisasi materi genetika yang dapat direproduksi dan diwariskan kepada generasi berikutnya (Gambar 14.1). Faktor-faktor penyebab mutasi disebut *mutagen*, dan individu yang mengalami mutasi disebut *mutan.*

Mutan tidak selalu berubah menjadi spesies baru, kecuali bila perubahan itu amat jauh menyimpang dari individu semula dan dapat beradaptasi dengan lingkungannya.

Istilah dan teori mutasi pertama kali dikenalkan oleh *Hugo de Vries*, dengan terbitnya buku "*The Mutation Theory*" tahun 1901. ia melakukan percobaan pada bunga pukul empat *Oenothera lamarckiana.*

L. J. Stadler, merupakan pionir dalam menginduksi mutasi dengan menggunakan sinar X dengan sinar gamma pada tumbuhan, terutama pada jagung dan jelai. Sedangkan A. F. Blakeslee, A. G. Avery; O. Y. Eigsti dan B. R. Nebel merupakan sarjana yang melakukan eksperimen induksi mutasi kromosom dengan menggunakan *kolkisin*, yang diekstrak dari

krokus colchicum autumnale. Mutasi secara garis besar dapat dibedakan atas: mutasi kromosom dan mutasi gen.

4.4.1. Mutasi kromosom (aberasi)

Mutasi kromosom, yaitu mutasi yang terjadi karena perubahan struktur dan susunan kromosom, meliputi:

a. perubahan set kromosom/aneuploidi
b. perubahan pergandaan/aneusomi
c. kerusakan kromosom/fragmentasi

A. Perubahan set kromosom/aneuploidi

Perubahan set kromosom merupakan perubahan pada jumlah N-nya atau pada pasangan set kromosomnya tidak benar. Dalam hal ini keadaan setnya dapat berkurang atau lebih dari normal (2n = diploid), misalnya menjadi monoploid (n), triploid (3n), tetraploid (4n), pentaploid (5n),dan heksaploid (6n). Sedangkan perubahan set kromosom 3n ke atas juga digolongkan dalam *poliploid*.

Keadaan N yang bermacam-macam ini (heteroploid) banyak dijumpai pada tanaman perdu, tomat, apel, jeruk, bit gula dan tebu. Sedangkan pada hewan dapat pula ditemukan pada serangga, bulu babi, bintang laut, cacing gelang, pada katak, bahkan juga dijumpai pada mammalia.

Menurut kejadiannya, poliploidi dapat dibagi menjadi 2:

a. *Autopoliploidi:* dalam hal ini genom (N) sendiri yang berganda karena gangguan waktu meiosis.
b. *Allopoliploidi:* terjadi karena perkawinan antara spesies atau genus yang berbeda susunan kromosomnya.

B. Perubahan pergandaan/aneusomi

Pada peristiwa ini, jumlah autosom maupun gonosomnya dapat berkurang atau bertambah dari normal. Kelainan ini meliputi:

1. Monosomi (2n-1)
   Dalam hal ini ada makhluk hidup yang satu kromosomnya 1, sedangkan kromosom yang lainnya normal. Contoh: *Sindrom Turner (45.0)*: Monosomik pada gonosom.

2. Trisomi (2n+1)
   Salah satu kromosomnya bukan 2 tapi 3. *Contoh:*
   - *Sindrom Klinifelter* (47,XXY), trisomik pada gonosom.
   - *Sindrom Down* (47,XX atau 47,XY), trisomik pada autosom, yaitu kromosom no.21, disebut *Mongolism,* karena bermata sipit, kaki pendek, dan berjalan agak lamban.

- *Sindrom Edwards* (47,XX atau 47, (47,XX atau 47,XY), trisomik pada autosom, mungkin kromosom no. 16, 17, 18. tengkorak lonjong, dada pendek-lebar, telinga rendah dan tak wajar, serta 90% mati 6 bulan pertama sejak lahir.

- *Sindrom Patau* (47,XX atau 47,XY), trisomik pada autosom, mungkin kromosom no. 13,14,15. 0.1% kelahiran hidup, kepala kecil, mata kecil, telinga tendah dan buruk, tuli, dan kelainan jantung.

3. Tetrasomi (2n+2)
   Ada salah satu macam kromosomnya yang 4, atau 2 macam kromosom yang masing-masing 3 (tiga).

4. Nullisomi (2n-2)
   Ada yang 2 macam kromosomnya masing-masing hanya satu, karena itu individunya kekurangan 2 kromosom.

C. Kerusakan kromosom/fragmentasi.
Dapat dibagi atas 4 macam bentuk:
1. Inversi: terjadi karena kromosom berpilin dan bagian yang berpilin itu jadi terbalik. Gen-gennya pun berpindah lokus.

2. Duplikasi: terjadi karena suatu kromosom patah dan patahan itu melekat pada kromosom homolognya, sehingga kromosom homolog itu bertambah jumlah gennya dan itulah yang mengalami duplikasi.
3. Delesi: sesuai dengan nomor 2 diatas, kromosom yang mengalami patahan kehilangan sebagian gen.
4. Translokasi: terjadi pertukaran gen antara dua kromosom yang tidak sehomolog.

4.4.2. Mutasi gen

Mutasi Gen yaitu mutasi yang terjadi karena perubahan susunan molekul dari satu atau beberapa gen (ADN) dengan lokus gen tetap, yang akan mengubah susunan asam amino yang dihasilkan. Mutasi ini dapat menimbulkan alel varietas baru. Sehubungan dengan itu mutasi gen dapat dibayangkan sebagai analog berita yang salah disampaikan. Contohnya adalah berikut.

1. Penggantian (substitution)
   Berita yang diniatkan:
   Dia ke toko membeli *baju*
   Berita kenyataan:
   Dia ke toko membeli *baja*

2. Penyisipan (insertion)
   Berita yang diniatkan:
   Kasim belum *baik* lagi
   Berita kenyataan:
   Kasim belum *balik* lagi

3. Pelenyapan (deletion)
   Berita yang diniatkan:
   Sediakan *gulai* untuknya
   Berita kenyataan:
   Sediakan *gula* untuknya

4. Penyungsangan (inversion)
   Berita yang diniatkan:
   Antarkan *ibu* ke stasiun
   Berita kenyataan:
   Antarkan *ubi* ke stasiun

Contoh mutasi gen:

Pada pembentukan haemoglobin S, dimana Hb jenis ini akan terbentuk bila asam amino *asam glutamat* pada urutan ke-6 dari Hb yang normal diganti dengan *Valin*, pada kedua rantai polipeptida b.

Rantai polipeptida b.	
1. Valin	valin
2. Histidin	histidin
3. Leusin	leusin
4. Treonin	treonin
5. Prolin	prolin
6. **As.Glutamat**	**valin**
7. As.Glutamat	as.glutamat
Hb A. (Normal)	Hb B. (Sickle Cell Anemia)

Selanjutnya, berdasarkan pada daerah yang mengalami mutasi dapat dibedakan menjadi 2 bagian:

1. Mutasi pada sel tubuh (*somatis = vegetatif*), yakni mutasi yang terjadi pada sel tubuh atau jaringan vegetatif, misalnya pada epitel, otot, jaringan ikat dan syaraf. Mutasi ini tidak diwariskan.

2. Mutasi pada gamet (*gonosom = generatif*), yaitu mutasi yang terjadi pada sel gamet yang terdapat dalam gonad. Mutasi ini diwariskan dari generasi ke generasi.

4.4.3. Sebab-sebab mutasi

Berdasarkan faktor-faktor penyebabnya, mutasi dapat dibedakan atas 2 bagian, yaitu:

1. *Mutasi alam*

Mutasi yang disebabkan oleh alam, misalnya sebagai berikut:

- Sinar kosmos yang berasal dari angkasa luar (foton, positron, meson dan proton).
- Batuan radioaktif (thorium, uranium, radium, dan isotop kalium).
- Sinar ultraviolet matahari.
- Sesuatu yang tak jelas dalam metabolisme sehingga terjadi kekeliruan dalam sintesa bahan genetik.
- Radiasi ionisasi internal dari bahan radioaktif yang mungkin terkandung dalam jaringan (lewat makanan atau minuman yang kena pencemaran radioaktif).

Mutasi alam sangat jarang terjadi dan apabila terjadi adalah secara kebetulan, amat lambat tetapi pasti. Penelitian mengenai mutasi ini sangat sukar karena terjadinya jarang dan lambat. Mutasi alam menyediakan bahan baku terjadinya evolusi. Evolusi ini memungkinkan kelangsungan hidup suatu jenis di alam yang selalu berubah.

2. *Mutasi buatan (induksi)*

Mutasi yang disebabkan oleh usaha manusia. Orang yang menjadi pelopor dan yang pertama memikirkan serta mencoba mengadakan penelitian mengenai mutasi ini adalah *Herman Joseph Muller*, ahli genetika dari Amerika Serikat (1890-1945), murid Morgan. H.J.Muller melakukan penelitian dengan jalan melakukan penyinaran sinar X terhadap lalat buah (*Drosophila*) dan hasil penyinaran ini menunjukkan bahwa lalat buah tersebut mengalami *mutasi letal.*

Mutasi buatan dapat disebabkan oleh:

a. Bahan fisika, terdiri dari:
   - Sinar X, sinar gamma, dan isotop radioaktif
   - Partikel yang dapat mengionisasi (netron, elektron, proton, partikel a dan ion-ion berat)
   - Sinar ultraviolet
   - Suhu yang tinggi

b. Bahan kimia, terdiri dari:
   - Pestisida: DDT, Aziridin
   - Makanan-minuman: kafein, siklamat, sikloheksilamin, natrium nitrit, ($NaNO_2$), dan asam nitrit (HNO_2).
   - Obat: radiomimitik, yaitu zat-zat kimia yang kerjanya sama dengan radiasi, misalnya ion ferrum, dapat mengadakan otooksidasi dalam udara menjadi senyawa ferri dengan melepaskan radikal bebas seperti sinar X.

- Agen alkilasi (gas mustard, dimetil dan dietil sulfat, beta propilakton, dan etil metan (sulfat).
- Hodroksilamine (NH_2OH)
- Gas metan, kolkisin, dan digitonin.

c. Bahan biologi

Lebih dari 20 macam virus penyebab kerusakan kromosom. Ada virus hepatitis menimbulkan aberasi pada darah/sumsum tulang, virus campak, demam kuning, benguk dan cacar juga dapat menimbulkan aberasi.

Dapat pula ditambahkan, perbuatan manusia yang menambah radiasi dapat menyebabkan mutan, misalnya:

1. Penggunaan sinar X dalam pengobatan, penelitian, perdagangan, dan industri.
2. Penggunaan zat-zat kimia yang radioaktif atau radioisotop.
3. Penggunaan bahan kimia dalam makanan dan minuman atau obat-obatan yang dapat menyebabkan mutasi.
4. Percobaan-percobaan yang menggunakan bom radioisotop.
5. Kebocoran radiasi dari reaktor nuklir atau kendaraan bertenaga atom, misalnya roket dan pembuangan sampah-sampah industri yang mengandung radioaktif.

Pada saat ini, mutasi buatan telah banyak dimanfaatkan orang untuk mendapatkan tanaman yang poliploid. Misalnya dengan jalan menyuntikkan zat kimia kolkisin pada tanaman kol, tomat dan anggur. Tanaman poliploid ini mempunyai sifat:

1. Ukurannya lebih besar dari tanaman normal.
2. Kromosom selnya banyak.
3. Gagal membentuk alat-alat generatif, sehingga bila dipandang dari tanaman itu sendiri akan merugikan tanaman tersebut.

Angka laju mutasi yaitu angka yang menunjukkan berapa jumlah gen yang bermutasi diantara seluruh gamet yang dihasilkan oleh satu individu dari satu spesies. Sekali pun angka laju mutasi sangat rendah yang mempengaruhi pertumbuhan spesies.

4.5. Peranan manusia dalam revolusi hijau dan revolusi biru

4.5.1. Revolusi Hljau

Revolusi hijau adalah *pengembangan teknologi pertanian, untuk meningkatkan produksi bahan pangan dan serealia* (makanan pokok bagi sebagian besar penduduk dunia). Misalnya: gandum, padi, jagung, dan sorgum.

Program revolusi hijau diusahakan melalui pemuliaan tanaman untuk mendapatkan varietas baru yang melampaui daya adaptasi

dari varietas yang telah ada. Varietas unggul yang baru akan lebih berhasil bila mempunyai adaptasi geografis yang lebih luas, responsif terhadap pengairan dan pemupukan serta tahan terhadap hama dan penyakit.

Program ini dimulai di Mexico (Cymmyt, tahun 1950-an) dan pada tahun 1960-an dapat melepas varietas gandum unggul. Selanjutnya IRRI (International Rice Research Institute) di Filipina pada tahun 1960 menemukan varietas padi unggul. Varietas padi unggul hasil IRRI mulai diperkenalkan pada tahun 1966-1967 dan cara ini dengan cepat dapat diterima petani.

Di India, varietas padi unggul berdaya hasil tinggi telah ditanam pada lebih 50% total areal pertanian yang menghasilkan kenaikan produksi 75% dari total produksi. Adapun di Indonesia masalah penyediaan pangan kini telah digarap dengan *Intensifikasi* (meliputi: penggunaan bibit unggul, pestisida, pupuk) maupun *ekstensifikasi* (perluasan lahan, irigasi, drainase, dan sebagainya). Program peningkatan hasil pertanian tersebut dikenal dengan istilah *Panca Usaha Tani*. Salah satu akibat sampingan daripada revolusi hijau ialah bahwa pemakaian pupuk dan pestisida meningkat, dan ini berpengaruh terhadap perubahan lingkungan.

4.5.2. Revolusi biru

Revolusi hijau telah mampu menyelamatkan sebagian besar penduduk dunia pada saat ini dari kelaparan. Untuk masa yang akan datang kita perlu memanfaatkan jasa lautan yang kita kenal dengan istilah revolusi biru, mengingat hampir ±70% permukaan bumi ini terdiri dari lautan. Oleh karena itu, generasi muda harus menyadari bahwa masa depan kita terletak di laut. Jadi *revolusi biru* adalah *pengembangan teknologi pemanfaatan kekayaan laut yang dapat digunakan manusia*, yaitu:

a. *Air laut*

Air laut mengandung unsur-unsur kimia, misalnya:

- NaCl untuk pangan.
- Mg untuk industri pesawat terbang, roket, dan peralatan medis.
- Merupakan sumber air tawar dengan menggunakan teknologi osmosis balik yaitu penghitungan garam dasar air laut (sudah diusahakan di Amerika Serikat dan Israel).

b. *Nodul di dasar laut*

Nodul ini berupa endapan logam seperti Mn, Ni, Ca, Cu, Au, Sn dan Fe.

c. *Energi*
   Energi ini merupakan energi panas yang berasal dari matahari (OTEC=*Ocean Thermal Convertion*).

d. *Bahan pangan baik berupa tumbuhan maupun hewan*
- Sumber ikan dan udang, misalnya terdapat di seluruh pantai Sumatera ke Aceh, sepanjang Selat Malaka, Pantai Sulawesi Selatan, selat Malekas, sekitar muncar dan selat Bali.
- Kepiting dan penyu terdapat di laut Ambon.
- Kekayaan Cakalang (Ikan Tuna) yang paling besar terutama di laut Banda. Bahkan diperkirakan mengandung cadangan paling besar di kawasan Asia Pasifik. Saat ini penelitian dilakukan terhadap alga hijau (*Chlorella* sp) yang juga hidup di air tawar dan hasilnya memberi harapan baik untuk menjadi sumber pangan baru.

e. *Bahan industri*
   Berjenis-jenis rumput laut dimanfaatkan untuk antibiotik, tekstil, pengolahan plastik, dan kosmetik.

Revolusi biru digiatkan di Indonesia dengan alasan:
a. Pemanfaatan sumber daya hayati laut yang terutama bertujuan untuk memenuhi kebutuhan pangan
b. Pemeliharaan tanaman untuk mendapatkan varietas baru yang mempunyai kemampuan adaptasi.
c. Peningkatan produksi pangan dalam rangka memenuhi kebutuhan penduduk.
d. Mengusahakan meningkatkan produksi dengan tidak menimbulkan perubahan pada kondisi keseimbangan alam.
e. Untuk memperoleh bibit tanaman dari laut yang dapat dimanfaatkan hasilnya.

4.6. Penemuan bibit unggul

4.6.1. Jenis tumbuhan unggul

Untuk pemuliaan tanaman maupun hewan, peranan penelitian untuk memperoleh bibit unggul sangat penting. Pemuliaan tanaman atau hewan adalah suatu metode yang secara sistematik merakit keragaman genetik menjadi suatu bentuk yang bermanfaat bagi manusia. Jadi diperlukan:
1. Adanya keragaman genetik.
2. sistem-sistem logis dalam pemindahan dan fiksasi gen.
3. Konsepsi dan tujuan yang jelas.
4. Mekanisme penyebaran hasilnya kepada masyarakat.

Bibit unggul adalah tumbuhan atau hewan yang memiliki sifat unggul (misalnya: ketahanan terhadap penyakit, rasa enak, umur pendek, produksi tinggi, dan sebagainya).

Contoh-contoh bibit unggul

1. Jenis padi unggul

- Padi unggul dapat diperoleh melalui *hibridisasi* dan *seleksi* seperti Sigadis, Bogowonto, Mahakam, Barito, Cisadane, Klara, Pelita I, Pelita II, C-4, dan Tondano. PB5 dan PB8 (Petak Baru) adalah padi ungul hasil penelitian IRRI. Bengawan, Nama padi ini sebenarnya adalah IR5 dan IR8 (Gambar 4.19), kemudian di Indonesia diubah menjadi PB5 dan PB8 karena alasannya dulu adalah dari padi jenis unggul Petak yang terdapat di Indonesia.

- Padi unggul yang diperoleh melalui *radiasi*. Sebagai contoh adalah Atomita I dan Atomita II dihasilkan akibat radiasi sinar gamma yang berasal dari CO-60. penelitian ini dikerjakan oleh BATAN (Badan Tenaga Atom Nasional), berasal dari padi jenis unggul Pelita I/1. Atomita I dan II tahan wereng coklat. Atomita II dapat hidup baik di daerah asin, tahan terhadap penyakit hawar daun (*Xanthomonas orizae*).

Gambar 4.19. Padi jenis IR-8.

Atomita I dan Atomita II merupakan contoh bibit unggul yang diperoleh melalui mutasi buatan. Padi ini memiliki keunggulan, antara lain:

- tanamannya pendek sehingga tidak mudah tertiup angin.
- umurnya lebih pendek.
- tahan terhadap beberapa jenis hama.

2. Jenis hewan unggul

- Jenis ayam unggul antara lain adalah Leghorn, Rhode Island Red, dan Barred-Plymouth.
- Jenis domba dan lembu unggul yaitu: Marino, South Down, dan Shropsire (Gambar 4.20).

Gambar 4.20. Lembu Unggul Shropsire.

- Jenis sapi unggul, antara lain adalah Guerney, Fries-Holland (Gambar 4.21), dan Short-Horn.

Gambar 4.21. Sapi Unggul Fries Holland.

- Jenis kelinci unggul yang digunakan sebagai sumber makanan (Gambar 4.22).

Gambar 4.22. Kelinci Unggul.

Bibit unggul dapat diperoleh melalui:

1. *Perkawinan silang*

Perkawinan silang bertujuan untuk menggabungkan dua atau lebih sifat-sifat unggul yang terdapat pada dua tetua yang berbeda. Misal tetua 1 mempunyai sifat unggul pertama (AA) tetapi tidak unggul dalam sifat kedua (bb) Sedangkan tetua 2 tidak mempunyai sifat unggul pertama tetapi memiliki sifat unggul ke dua (BB). Pada F1 akan diperoleh turunan heterozigot (AaBb), yang unggul baik pada sifat pertama maupun sifat kedua. Proses selanjutnya bergantung pada cara perbanyakan.

Jika A dan B merupakan gen dominan, dan tanaman dapat diperbanyak secara vegetatif, maka tanaman F1 sudah merupakan tanaman unggul terhadap kedua sifat tersebut, selanjutnya dapat diperbanyak secara vegetatif. Tanaman yang diperbanyak secara vegetatif misalnya : kentang, ubi jalar, ubi kayu, tebu.

Jika A dan B merupakan gen dominan dan diperbanyak dengan biji, maka tanaman F1 merupakan tanaman hibrid unggul untuk kedua sifat tersebut. Jika F1 ditanam dan menghasilkan biji F2, maka biji-biji yang dihasilkan belum tentu sama dengan induknya karena terjadi segregasi. Sebagian mempunyai kedua sifat unggul tetuanya, sebagian lagi hanya memiliki salah satu sifat unggul tetuanya, sedangkan sebagian lainnya tidak memiliki kedua sifat induknya. Oleh karena itu kita harus menggunakan bibit F1 langsung dari pemulia (breeder). Contoh varietas hibrid misalnya pada jagung hibrida.

Jika tanaman unggul yang kita kehendaki mempunyai sifat homozigot, maka usaha mencari bibit unggul ini diperlukan waktu 8-10 generasi. F1 yang diperoleh disilangkan kembali dengan salah satu tetuanya (backcross), dan dipilih tanaman yang mempunyai sifat tersebut. Misalnya kita mempunyai tanaman unggul dengan produksi tinggi, tetapi tidak resisten terhadap penyakit tertentu. Usaha yang dilakukan adalah menyilangkan tanaman tersebut dengan tanaman yang resisten. Sumber sifat resisten biasanya terdapat pada tanaman liar yang juga mempunyai banyak sifat yang tidak dikehendaki sehingga metode yang digunakan adalah backcross.

Karena hibrid hasil perkawinan dengan silang memiliki sifat-sifat yang mirip dengan induknya, maka dalam memilih (menyeleksi) suatu jenis unggul harus hati-hati mengingat suatu hibrid ada yang bersifat heterozigot dan homozigot. Sedangkan yang kita inginkan adalah hibrid homozigot.

2. *Mutasi buatan*

Jenis unggul dapat juga diperoleh melalui mutasi buatan. Cara ini banyak dilakukan pada tanaman-tanaman misalnya tomat, anggur, jeruk, kubis, dan gandum.

Tanaman hasil mutasi buatan ini pada umumnya adalah poliploid, yaitu kromosomnya bertambah banyak (>2n) dan gagal membentuk alat generatif. Sehubungan dengan itu tanaman poliploid harus dibibitkan terus-menerus. Seperti tanaman semangka yang banyak digemari orang (Gambar 4.23).

Gambar 4.23. Semangka poliploid.

Sedangkan pada ternak terdapat beberapa cara untuk memperbaiki keturunan, yaitu:

a. *Purebreeding* (*Silang murni*): mengawinkan ternak jantan dan betina yang sama bangsanya, bertujuan untuk mempertinggi sifat homozigot. Misalnya perkawinan antara sapi Madura di pulau Madura.

b. *Inbreeding (Silang dalam)*: perkawinan antara ternak jantan dan betina yang masih ada hubungan famili (keluarga). Bila hubungan famili sangat dekat disebut sebagai *Closebreeding* (*silang dekat*).

c. *Crossbreeding* (*Silang luar*): perkawinan silang antara dua bangsa yang berdarah murni (galur murni) yang bertujuan untuk mendapatkan ras baru yang memiliki sifat-sifat menonjol. Misalnya perkawinan antara sapi Fries-Holland dengan sapi Madura.

d. *Upgrading*: perkawinan antara pejantan yang diketahui mutunya (biasanya didatangkan dari luar negeri) dengan betina-betina setempat. Perkawinan ini bertujuan untuk memperbaiki mutu ternak rakyat.

Usaha perbaikan mutu tumbuhan dan hewan piaraan dapat juga dilakukan dengan mengawinkan (membastarkan) hewan dan umbuhan liar dengan tumbuhan atau hewan peliharaan. Tumbuhan dan hewan liar tersebut merupakan kekayaan alam yang disebut dengan *sumber gen* atau *plasma nutfah*

Rangkuman

Struktur kimia DNA merupakan rantai double helix polinukleotida, terdiri atas gula deoksiribosa (pentosa), fosfat, dan basa nitrogen Adenin, Guanin, Thymin, dan Cytosin, terdapat dalam kromosom (nukleus), mitokondria, dan klorofil.

RNA tersusun atas polinukleotida tunggal, dengan komponen gula ribosa (pentosa), fosfat, dan basa nitrogen: Adenin, Guanin, Cytosin dan Urasil.

Sintesis protein membutuhkan bahan dasar asam amino dan berlangsung di dalam ribosom. Secara garis besar, sintesis protein berlangsung melalui dua tahap, yaitu transkripsi dan translasi.

Menurut fungsi mengatur jenis gamet, kromosom dapat dibedakan atas: autosom (kromosom tubuh) dan kromosom kelamin (gonosom).

Prinsip hereditas menyatakan bahwa sifat-sifat makhluk hidup dikendalikan oleh faktor-faktor menurun (gen). Prinsip segregasi bebas: pada pembentukan gamet pasangan gen memisah secara bebas sehingga tiap gamet mendapatkan salah satu gen dari pasangan gen (alel) tersebut.

Prinsip berpasangan bebas: pada pembuahan (fertilisasi), gen-gen dari gamet jantan maupun gen-gen dari gamet betina akan berpasangan secara bebas.

Prinsip dominan penuh atau tidak penuh (intermediate), fenotipe gen dominan akan menutupi pengaruh gen resesif. Sedangkan pada prinsip dominan tidak penuh, fenotipe gen pada individu heterozigot berada di antara pengaruh kedua alel gen yang menyusunnya.

Penyimpangan Semu Hukum Mendel (PSHM) terjadi apabila munculnya perbandingan yang tidak sesuai atau menyimpang dengan dengan Hukum Mendel. Penyimpangan ini meliputi: polimeri, komplementer, epistasis-hipostasis dan pautan gen.

Sekitar 150 sifat keturunan pada manusia yang kemungkinan besar disebabkan oleh gen-gen terpaut-X, misalnya buta warna, hemofilia, anadontia, Sindroma lesch-Nyhan, hidrocephali, dan gigi cokelat.

Mutasi adalah perubahan organisasi materi genetika yang dapat direproduksi dan diwariskan kepada generasi berikutnya. Faktor-faktor penyebab mutasi disebut mutagen, dan individu yang mengalami mutasi disebut mutan.

Mutasi secara garis besar dapat dibedakan atas: mutasi kromosom dan mutasi gen. Mutasi kromosom, yaitu mutasi yang terjadi karena perubahan struktur dan susunan kromosom, meliputi: perubahan set kromosom (aneuploidi), perubahan pergandaan (aneusomi), dan kerusakan kromosom (fragmentasi).

Mutasi Gen, yaitu mutasi yang terjadi karena perubahan susunan molekul dari satu atau beberapa gen (DNA) dengan lokus gen tetap. Terdiri dari: substitusi, delesi, inversi, dan duplikasi.

Berdasarkan pada daerah yang mengalami mutasi dapat dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu: mutasi somatis dan mutasi gamet.

Berdasarkan faktor penyebabnya, mutasi dapat dibedakan atas 2 bagian. Mutasi alami, terdiri dari sinar kosmos, sinar ultra violet, batuan radioaktif, dan reaksi ionisasi internal.

Mutasi buatan seperti penggunaan fisik (sinar kosmos, uv, x), bahan kimia (pestisida, obat radiomimitik, agen alkilasi, hodroksilamine, gas metan, kolkisin dan digitonin); dan biologi (virus, bakteri, dan jamur).

Perbuatan manusia yang menambah radiasi dapat menyebabkan mutan, misalnya: penggunaan sinar X; zat-zat kimia yang radioaktif atau radioisotop: bahan kimia dalam makanan, minuman atau obat-obatan: percobaan-percobaan yang menggunakan bom radioisotop: kebocoran radiasi dari reaktor nuklir atau kendaraan bertenaga atom, misalnya roket dan pembuangan sampah-sampah industri yang mengandung radioaktif.

Sekarang ini, mutasi buatan telah banyak dimanfaatkan orang untuk mendapatkan tanaman poliploid. Misalnya dengan jalan

menyuntikkan zat kimia kolkisin pada tanaman kol, tomat, anggur, semangka, jeruk dan buah lainnya.

Angka laju mutasi yaitu angka yang menunjukkan berapa jumlah gen yang bermutasi di antara seluruh gamet yang dihasilkan oleh satu individu dari satu spesies.

Soal Latihan

A. Berilah tanda silang (x) pada huruf a, b, c, d, atau e untuk jawaban yang tepat!

1. Disilangkan individu BB dengan Bb. Keturunan yang dihasilkannya memiliki kemungkinan sama dengan induknya yang dominan sebesar ....
   a. 100% b. 75% c. 50% d. 25% e. 15%

2. Jeruk berkulit keriput bersifat resesif terhadap jeruk berkulit halus. Apabila ingin dihasilkan banyak pohon jeruk berkulit halus, maka persilangan manakah yang harus dilakukan?
   a. HH x hh b. Hh x Hh c. HH x Hh d. Hh x hh e. HH x HH

3. Apabila berada dalam keadaan homozigot, gen berikut dapat menyebabkan kematian. Gen tersebut adalah:
   a. gen letal b. alel ganda c. poligen d. gen intermediate
   e. gen berpaut

4. Bunga warna merah dominan terhadap bunga warna putih. Apabila bunga warna merah heterozigot disilangkan sesamanya, diperoleh keturunan berjumlah 36 batang. Berapa batangkah yang berbunga warna merah?
   a. 9 batang b. 18 batang c. 27 batang d. 30 batang e. 35 batang

5. Lalat buah dengan kromosom XXX merupakan lalat betina super yang terbentuk akibat adanya ....
   a. pautan
   b. pindah silang
   c. gagal berpisah
   d. pautan seks
   e. kriptomeri

6. Terbentuknya jenis kelamin pria dan wanita dipengaruhi oleh ....
   a. kromosom autosom
   b. kromosom seks
   c. inti sel
   d. membran inti
   e. Gen dominan

7. Tipe kromosom X dan Y ditemukan pada tanaman ....
   a. fungi b.monera c. lumut d. spermatophyta e. paku

8. Berikut ini yang bukan termasuk sifat dominan pada manusia ....
   a. rambut keriting
   b. hidung melengkung
   c. lidah menggulung
   d. bibir tebal
   e. warna mata cokelat

9. Seorang wanita karier buta warna menikah dengan seorang pria normal. Sifat buta warna akan tampak pada anak ....
   a. laki-laki
   b. perempuan
   c. sebagian laki-laki
   d. sebagian perempuan
   e. laki-laki dan perempuan

10. Seorang wanita bergolongan darah A heterozigot dan suaminya bergolongan darah O. Kemungkinan anak mereka bergolongan darah O sebesar ....
   a. 25% b. 50% c. 75% d. 80% e.100%

11. Beberapa usaha tersebut dilakukan melaksanakan revolusi hijau:
   1. mengadakan rotasi
   2. mengadakan reboisasi
   3. menanam tumbuhan yang meningkatkan kesuburan tanah
   4. membuat irigasi
   Usaha yang paling tepat dilakukan pada lahan kritis adalah ....
   a. 1 dan 2
   b. 1 dan 3
   c. 2 dan 3
   d. 2 dan 4
   e. 1 dan 4

12. Perbaikan mutu ternak rakyat melalui perkawinan antara betina setempat dengan pejantan telah diketahui kualitasnya disebut ....
   a. upgrading
   b. purebreeding
   c. inbreeding
   d. closebreeding
   e. crossbreeding

13. Seorang petani menginginkan produksi tanamannya meningkat, maka mereka menanam jenis tanaman hasil hibridisasi, dalam hal ini kemajuan ilmu dan teknologi mendukung di bidang ....
   a. pemupukan
   b. pengolahan tanah
   c. irigasi
   d. pembibitan
   e. pemberantasan hama

14. Berikut ini yang *bukan* membudidayakan laut adalah upaya pengembangan dan pemeliharaan ....
    a. rumput laut
    b. kerang mutiara
    c. ikan-ikan
    d. udang
    e. biota laut

15. Jenis kelamin manusia ditentukan oleh ada tidaknya ....
    a. kromosom X
    b. kromosom y
    c. kromosom ZO
    d. kromosom XO
    e. kromosom U

16. Pada pembastaran bunga merah AAbb dengan bunga putih aaBB dihasilkan keturunan ungu. Bila antar bunga ungu dibastarkan maka rasio fenotipe ungu: merah: putih adalah ....
    a. 12: 3: 1
    b. 9: 3: 4
    c. 9: 4: 3
    d. 9: 6: 1
    e. 6: 9: 1

17. Penyakit atau kelainan berikut ini yang tidak diwariskan melalui pola hereditas adalah ....
    a. hemofilia
    b. imbisil
    c. albino
    d. anadontia
    e. lepra

18. Individu yang memiliki susunan genotipe CcAANnTTIIKk, saat meiosis akan menghasilkan gamet berjumlah ....
    a. 2 macam
    b. 4 macam
    c. 8 macam
    d. 16 macam
    e. 32 macam

19. Pindah silang yang terjadi antar kromatid dari kromosom homolognya, sering terjadi saat ....
    a. profase
    b. metafase
    c. anafase
    d. telofase

e. interfase

20. Perubahan jumlah kromosom seks ....
    a. melibatkan kromosom Y
    b. tidak melibatkan *nondisjunction*
    c. tidak menyebabkan sindrom
    d. menyebabkan monosomi dan trisomi
    e. semuanya benar

B. Jawablah dengan singkat dan tepat

1. Sebutkan manfaat mempelajari genetika!

2. Mengapa perkawinan antar keluarga dekat sebaiknya dihindari?

3. Mengapa seorang wanita buta warna, ayahnya pasti buta warna dan ibunya tidak selalu buta warna?

4. Domestikasi, seleksi, hibridisasi dan mutasi buatan merupakan cara-cara yang dilakukan manusia dalam rangka memperoleh jenis-jenis unggul. Jelaskan!

5. Tuliskan peranan manusia dalam revolusi biru?

6. Indonesia Negara agraris, mengapa kita mengimpor beras dari Negara tetangga Thailand dan Filipina. Coba kalian jelaskan!

7. Apakah yang dimaksud dengan:
    a. In breeding
    b. up breeding
    c. mutasi buatan
    d. rekayasa genetika

8. Mengapa produk transgernik hasil radiasi dapat membahayakan kesehatan manusia?

9. Sebutkan 3 macam penyakit yang terpaut kromosom Y!

10. Bila seseorang siswa bergolongan dari B mengalami kecelakaan, maka dia dapat menerima donor darah dari golongan O. Mengapa?Jelaskan secara skematis!

DAFTAR PUSTAKA

Abas M, Yadi R, Imam S, Sri N, Sutarto, Murtiningsih, Parlan, Retno N, Soewarni, Ispondia, Suradi. 2002. *Panduan Belajar Biologi I A dan IB*. Yudhistira, Jakarta.

Alberts B. 1994. *Biologi Molekuler Sel*, *Edisi Kedua*. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Alexopoulos CJ, Mims CW, Blackwell M. 1996. Introductory Mycology. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Beckett B & Gallagher RM. 1990. *All About Biology*. Oxford University Press, UK-England.

Bold HC & Wynne MJ. 1978. *Introduction to the Algae*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

Boolootian RA. 1979. *Zoology*. The Macmillan Company, London.

Madigan MT, Martinko JM, Parker J. 2006. *Brock, Biology of Microorganisms*, *10th ed*. Prentice Hall. New Jersey.

Brum G. 1994. *Biology: Exploring Life*. Johns Wiley and Sons, Inc., New York.

Campbell NA. Mitchell LG, Reece JB. 1997. *Biology*, *2nd ed*. Benjamin Cummings Publishing Company, Inc., Redword City, England.

Campbell NA. Mitchell LG, Reece JB, Taylor MR, Simon EJ. 2006. *Biology*, *5th ed*. Benjamin Cummings Publishing Company, Inc., Redword City, England.

Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. 1999. *Kurikulum Sekolah Menengah Kejuruan (GBPP) Mata Pelajaran Biologi*. Depdikbud, Jakarta.

Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. 2004. *Kurikulum Sekolah Menengah Kejuruan (GBPP) Mata Pelajaran Biologi*. Depdikbud, Jakarta.

Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. 2004. *Standar Kompetensi. Mata Pelajaran Biologi Sekolah Menengah Kejuruan.* Depdikbud, Jakarta.

Frandson RD. 1992. *Anatomi dan Fisiologi Ternak*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.

Green NPO. 1986. *Biological Sciences II*. Cambridge University Press, London.

Haynes NL. 1973. *Biological Science and Ecological Approach (BSCS Green Version).* Rand McNally and Company, Chicago.

Imms A. 1960. *A General Textbook of Entomology*. Methuen & Co, London.

Jeffrey C. 1982. *An Introduction to Plant Taxonomy*. Cambridge University Press, New York.

Johnson WH. 1965. *General Biology*. Holt, Reinhad and Winston, Inc, USA.

Jones KC. 1977*. Introductory Biology*. John Wiley & Sons, Inc., Canada.

Keeton WT & Gould JL. 1996. *Biological Science, 5th ed*. W.W. Norton & Company, Inc.USA.

Kimball JW, Tjitrosomo SS, Soegiri N. 1996. *Biology Jilid I, II, III.* Erlangga, Jakarta.

Kondo. 1982. *The New Book of Popular Science*. Grolier Int. Inc., New York.

Lederer RJ. 1984. *Ecology and Field Biology*. The Benjamin Cummings, California.

Luria SE, Gould SJ & Singer S. *A View of Life.* Harper Collins Publishers, New York.

Mackean DG. 1991. GCSE. *Introduction to Biology*. John Murray, London.

Marshall AJ & Williamms WD. 1981. *Textbook of Zoology*. Vol I: Invertebrates. Macmillan Press, Australia.

Mix MC. 1992. *Biology*. The Network of Life. Harper Collins Publishers, New York.

Monger G & Sangster M. 1988. *Systematics and Classification*. Longman Group, London.

Moore-Landecker E. 1996. *Fundamentals of the Fungi*. *4th ed.* Prentice Hall. New Jersey.

Mukayat DB. 1990. *Zoologi Dasar*. Erlangga, Jakarta.

Neushul M. 1974. *Botany.* Hamilton Publishing Co., California.

Nuswamarheni S, Diah P & Endang PS. 1993. *Mengenal Buah Unggul Indonesia*. Penerbit Swadaya, Jakarta.

Oram, Hammer, Smoot. 1986. *Biology Living Systems*, *5th ed*. Charles E. Merrit Publishing Company, Columbia, Ohio.

Pelczar MJ & Chan ECS. *Dasar-Dasar Mikrobiologi.* 1986. Penerbit universitas Indonesia, Jakarta.

Philips WD & Chilton TJ. 1989. *A Level Biology*. Oxford University Press, Oxford.

Purves WK. *Life the Science of Biology, 7th ed*. Sinauer associations, inc. WH Freeman and company, USA.

Radioputra. 1983. *Zoologi.* Erlangga, Jakarta.

Raven PH & Johnson GB. 2005. *Biology*, 2nd ed. Times/Miror/Mosby College Publishing, Toronto.

Resosoedarmo RS. 1993. *Pengantar Ekologi.* PT Remaja Rosdakarya, Bandung.

Roberts MBV & Monger G. 1993. *Biology: A Functional Approach*. Thomas Nelson and Sons Ltd, London.

Rochyadi Y. 1986. *Pegangan Biologi.* Armico, Bandung.

Sastrapradja SD. 1989. *Mengenal Sumber Pangan Hayati dan Plasma Nutfahnya*. Puslitbang Bioteknologi-LIPI, Bogor.

Smith GM. 1983. *Cryptogamic Botany Algae and Fungi Vol. I*. Tata McGraw Hill, New Delhi.

Smith RL. 1992. *Elements of Ecology. 3rd ed*. Harpercollins Pub, New York.

Starr C & Taggart R. 1984. *The Unity and Diversity of Life, 3rd ed*. Wadsworth Publishing Co, California.

Storer T & Usinger R. 1961. *Element of Zoology, 2nd ed*. McGraw Hill Book Publishing Co., New York.

Solomon. 1993. *Biology, 3rd ed.* Saunders College Publishing, Fort Worth.

Tjitrosomo SS. 1984. *Botani Umum 3*. Penerbit Angkasa, Bandung.

Torrance J. 1991. *Standard Grade Biology*. Hodder & Stoughton, London.

Wallace RA. 1992. *Biology*. The World of Life, *6th ed*. Harpen Collins, New York.

Watson JD, David JT & Kurtz T. 1998. Alih Bahasa Wisnu Gunarso. *DNA Rekombinan*. Penerbit Erlangga, Jakarta.

Weier E. 1982. *Botany*: An Introduction to Plant Biology. *6th ed*. John Wiley Sons, Singapore.

Winatasasmita D & Sukarno. 1993. *Biologi 1 untuk SMU.* Depdikbud, Jakarta.

Yatim W. 1983. *Genetika.* Tarsito, Bandung.

Yayasan Studi Kurikulum Biologi. 1987. *Biologi Umum 1, 2, 3*. PT Gramedia, Jakarta.

Yudianto SA. 1992. *Pengantar Cryptogamic*. Tarsito, Bandung.

Zottoli R. 1983. *Pengantar Biologi Laut*. Mosby Company, London.

DAFTAR ISTILAH (GLOSARI)

Abisal	: daerah yang lebih dalam dan lebih jauh dari pantai
Afotik	: daerah yang sama sekali gelap
Akinet	: sel yang tidak aktif akan membentuk trikom baru setelah masa dorman selesai
Alel	: gen-gen yang berada pada lokus yang setentang/ selevel/bersesuaian pada kromosom yang sehomolog
Alogami	: serbuk sari berasal dari individu lain yang spesiesnya sama
Ametabola	: tidak ada pergantian bentuk dan hanya dapat dilihat pertambahan besar ukuran
Amfiartrosis	: hubungan tulang yang masih memungkinkan adanya sedikit gerakan.
Amnensalisme	: Interaksi merupakan ganguan bagi satu makhluk hidup tapi tidak berpengaruh pada makhluk hidup lainnya
Anabolisme	: penyusunan senyawa-senyawa organik dari senyawa sederhana menjadi senyawa kompleks menggunakan energi
Anatomi	: susunan tubuh makhluk hidup
Aneuploidi	: perubahan set kromosom
Aneusomi	: jumlah autosom maupun gonosomnya dapat berkurang atau bertambah dari normal
Autosom	: sel tubuh manusia
Autopoliploidi	: genom (N) sendiri yang berganda karena gangguan waktu meiosis
Amfiksis	: kandung lembaga berasal dari hasil peleburan ovum dan sperma
Applied Science	: ilmu terapan
Apomiksasis	: kandung lembaga bukan berasal dari hasil peleburan ovum dan sperma.
Aporogami	: inti sperma masuk tidak melalui mikropil, misalnya melalui kalaza
Autogami	: serbuk sari berasal dari bunga yang sama, proses penyerbukan terjadi selagi bunga belum mekar
Angiospermae	: tumbuhan berbiji tertutup
Apterygota	: serangga tidak bersayap
Asimilasi	: proses sintesis senyawa-senyawa an-organik untuk disusun menjadi senyawa-senyawa organik
Askokarp	: tubuh buah yang mengandung askospora pada Ascomycota
Artospora	: spora yang dihasilkan dari pemisahan hifa

Autotrop	: makhluk hidup yang dapat membuat makanan sendiri
Bakteriofag	: virus yang menyerang bakteri
Batial	: daerah yang kedalamannya ± 200-2500 m
Bentos	: hewan-hewan yang melekat atau beristirahat pada dasar atau hidup pada endapan
Biogas	: pembuatan gas yang memanfaatkan mikroorganisme
Biokatalisator	: sifat enzim yang mempercepat suatu reaksi tetapi tidak ikut bereaksi
Bioenergi	: energi hasil dari proses biologi
Biomassa	: bobot makhluk hidup persatuan luas ekosistem
Bioma	: ekosistem dalam skala besar yang melibatkan iklim akibat perbedaan letak geografis
Blastospora	: spora aseksual yang dihasilkan dengan cara berkuncup, contohnya pada khamir
Breeding	: proses perkawinan silang pada makhluk hidup
Daur ulang	: salah satu cara untuk mengolah sampah organik dan anorganik menjadi benda-benda yang bermanfaat
Daya dukung	: ketersediaan sumber daya alam, cukup ruang untuk memenuhi kebutuhan dasar pada tingkat kestabilan sosial tertentu
Daya lenting	: kemampuan lingkungan untuk pulih kembali pada keadaan seimbang jika mengalami perubahan atau ganguan.
Determinasi	: membandingkan ciri-ciri morfologi makhluk hidup yang berlawanan
Diploblastik	: dinding tubuh terdiri dari dua lapisan yaitu lapisan luar dan dalam
Dendrit	: bagian saraf-saraf memanjang penerima rangsang
Dihibrida	: suatu persilangan (pembastaran) dengan dua sifat beda
Diferensiasi	: proses pembentukan organ-organ tubuh makhluk hidup secara spesialisasi
Difusi	: pergerakan molekul-molekul zat dari daerah berkonsentrasi lebih tinggi (hipertonis) ke daerah berkonsentrasi lebih rendah (hipotonis)
Diploid	: memiliki 2 set kromosom yang homolog (2n)
Dikotomi	: pembeda memiliki dua pilihan yang berlawanan
Dikotil	: tumbuhan berkeping dua
Double helix	: tangga tali berpilin pada kromosom
Dominan	: sifat yang utama
Dispersal	: pemencaran alat-alat perkembangbiakan
Dikogami	: masaknya serbuk sari dan putik tidak bersamaan
Delesi	: kehilangan gen

Duplikasi	: penggandaan gen
Efek rumah kaca	: Merupakan gejala peningkatan suhu dipermukan bumi yang terjadi karena meningkatnya kadar CO_2 (karbon dioksida) di atmosfer
Ekosistem	: suatu kondisi hubungan interaksi antara faktor biotik dengan faktor abiotik
Ekologi	: ilmu yang mempelajari hubungan makhluk hidup dengan lingkungannya
Elastis	: bersifat lentur
Esionom	: gerak berupa reaksi terhadap rangsang dari luar
Endonom	: gerak bagian tubuh tumbuhan yang disebabkan oleh rangsangan dari dalam
Endospora	: spora yang dihasilkan di dalam sel
Ekstravaskuler	: pengangkutan air dan garam mineral di luar berkas pembuluh, berlangsung dari sel ke sel secara horizontal
Embrionik	: proses pembentukan dan perkembangan embrio pada makhluk hidup
Enzim	: katalis protein yang dihasilkan oleh sel dan bertanggung jawab untuk laju dan bersifat khusus yang tinggi dari satu atau lebih reaksi biokimia intraseluler atau ekstraseluler
Epistasis	: faktor yang membwa sifat yang menutup
Epiteka	: bagian tutup dari alga diatomae
Etiolasi	: batang tumbuhan lemas karena kekurangan sinar matahari
Eukariotik	: makhluk hidup yang memiliki membran inti sel
Fagotrof	: makhluk hidup makro konsumen
Faset	: mata yang terdapat pada serangga
Fenotipe	: sifat-sifat yang tampak pada makhluk hidup, seperti warna kult, tinggi, jenis rambut
Fermentasi	: perubahan enzimatik dan anaerob dari substansi organik oleh mikroorganisme untuk menghasilkan zat organik yang lebih sederhana
Fertilisasi in vitro	: proses pembuahan yang terjadi di luar tubuh
Fisura	: retak tulang
Flame Cell	: sel-sel api
Floem	: pembuluh tapis
Fotik	: daerah yang masih dapat diterangi sinar matahari
Fototropisme	: gerak tumbuh bagian tubuh tumbuhan karena rangsang cahaya
Fotosintesis	: asimilasi karbon yang menggunakan cahaya sebagai energi.
Food chain	: Proses transfer energi makanan dari sumbernya (tumbuhan) melalui serangkaian makhluk hidup yang makan dan dimakan

Fraktura : patah tulang terbuka dan tertutup
Gastrulasi : fase perkembangan embrio setelah pembelahan dan perubahan dari blastula ke gastrula
Genom : set kromosom
Genotipe : sifat-sifat yang dibawa gen
Geitonogami : serbuk sari berasal dari bunga lain pada satu individu
Gestasi : masa kehamilan hewan
Gizzard : organ tubuh berfungsi untuk menggiling makanan.
Gutasi : peristiwa pengeluaran air dalam bentuk tetes-tetes air melalui celah yang terdapat pada tepi daun
Gymnospermae : tumbuhan berbiji terbuka
Haustorium : cabang khusus suatu hifa yang berguna sebagai alat melekat dan menghisap pada bagian luar tumbuhan, atau menyerap makanan di dalam sel
Hemimetabola : metamorfosis tidak sempurna pada serangga
Holometabola : metamorfosis sempurna pada serangga
Herba : tanaman yang memiliki batang berair atau berbatang lunak, misalnya bayam
Heterotrof : makhluk hidup tidak berklorofil dan tidak menghasilkan bahan organik sendiri
Hibridisasi : proses perkawinan
Higroskopis : gerak karena perbedaan kadar air yang tidak merata pada bagian tubuh tumbuhan.
Hipotesis : dugaan sementara
Heterosista : dinding sel-sel tertentu pada sianobakteri menebal dan berfungsi untuk mengikat nitrogen
Hiperparasit : parasit yang hidup pada parasit lainnya, contoh *Vicum* sp pada benalu
Hujan asam : sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen dioksida (NO_2) bereaksi di udara membentuk asam yang jatuh ke bumi bersama dengan hujan dan salju
Identifikasi : menelaah sifat-sifat suatu makhluk hidup untuk menentukan namanya dari hasil pengamatan morfologi (pencandraan)
Imbibisi : kemampuan dinding sel dan plasma sel untuk menyerap air dari luar sel
Inhibitor : zat penghambat enzim
Inceneration : proses penghancuran *s*ampah padat dibakar di dalam alat insinerator
Insectivor : tumbuhan yang dapat menangkap serangga sebagai sumber nitrogen
Involunter : mekanisme kerja saraf tidak sadar
Irreversibel : kemampuan dinding sel dan plasma sel menyerap air dari luar sel

Isogami : penyatuan dua sel kelamin (gamet) yang sama bentuk dan ukurannya

Kalus : bagian sel yang mempunyai kemampuan membelah terus menerus pada kultur jaringan

Katabolisme : penguraian senyawa-senyawa organik kompleks menjadi sederhana dengan melepaskan energi yang digunakan makhluk hidup untuk berbagai kegiatan

Kariogami : persatuan inti dari dua individu

Kapsomer : virus yang memiliki lipoprotein, bahan dari lemak dan protein

Kapsid : kapsul protein yang mengelilingi asam nukleat virus

Kartilago : tulang rawan

Kemosintesis : makhluk hidup yang melakukan asimilasi Karbon dengan menggunakan energi yang berasal dari reaksi-reaksi kimia

Khamir : cendawan (fungi) uniseluler yang berkuncup, contohnya Saccharomyces

Klasifikasi : Proses pengaturan atau penggolongan makhluk hidup dalam kategori golongan yang bertingkat

Kranium : tulang tengkorak

Kromatin : benang-benang pembawa sifat keturunan

Kromosom : pembawa sifat menurun, terdapat dalam inti sel, perkembangan dari kromatin, tampak pada saat sel membelah

Kromosom homolog : kromosom yang saling berpasangan pada sel diploid

Kromosom seks : kromosom yang menentukan jenis kelamin jantan atau betina

Komensalisme : hubungan simbiosis antara dua makhluk hidup, satu makhluk hidup mendapat keuntungan sedangkan pasangannya tidak terpengaruh

Kompetisi : persaingan antar anggota satu spesies atau yang berbeda spesies

Komunitas : sekelompok makhluk hidup terdiri atas berbagai populasi yang saling berinteraksi sesamanya pada suatu tempat dan waktu tertentu.

Konyugasi : penggabungan materi DNA

Kopulasi : transfer sel sperma atau sel telur ke makhluk hidup lain

Lentik : ekosistem air tawar yang airnya tenang

Lokus : lokasi gen terletak pada satu tempat yang sama dalam kromosom

Lotik : ekosistem air tawar yang berganti-ganti antara air tenang dan deras

Limbah anorganik : limbah yang dihasilkan dari bahan-bahan anorganik, yang tidak dapat diolah, contohnya plastik,kaleng, aluminium

Limbah organik : limbah yang dihasilkan dari bahan-bahan organik, dapat diolah kembali.

Lingkungan : interaksi antara faktor biotik dan abiotik dengan makhluk hidup

Limnetik : daerah air terbuka yang mendapat sinar matahari efektif

Litoral : daerah yang berbatasan dengan darat.

Lisis : proses perusakan dinding sel inang oleh virus

Membran timfanum : alat pendengaran pada serangga

Meristem : jaringan muda yang sel-selnya aktif membelah diri

Metabolisme : reaksi kimia untuk pembentukkan dan perombakan bahan organik

Metagenesis : proses pergiliran keturunan pada makhluk hidup, dimana reproduksi vegetatif bergantian dengan reproduksi generatif

Metamorfosis : proses perubahan bentuk serangga melalui beberapa fase

Multiseluler : tubuh makhluk hidup yang tersusun atas beberapa sel

Mutualisme : hubungan yang saling menguntungkan kedua pihak

Monokotil : tumbuhan berkeping biji satu

Mutagen : penyebab mutasi

Mutan : makhluk hidup yang mengalami mutasi

Mutasi letal : mutasi yang menyebabkan kematian

Modifikasi : proses perubahan bentuk morfologi dan anatomi secara bertahap

Monohibrida : perkawinan tumbuhan/hewan dengan satu sifat beda

Morfologi : ilmu yang mempelajari struktur luar suatu tanaman, hewan atau manusia.

Morfogenesis : proses pembentukan organ-organ tubuh pada makhluk hidup

Mutasi : perubahan organisasi materi genetika yang dapat diwariskan kepada generasi berikutnya

Mutasi somatik : mutasi yang terjadi dalam tubuh yang tidak diwariskan

Nekton : hewan-hewan yang aktif berenang seperti ikan, amfibi dan serangga air

Neritik : daerah yang masih dapat ditembus cahaya matahari sampai dasar (± 200 m)

Neuston : jenis hewan yang beristirahat atau berenang di permukaan air

Netralisme : interaksi yang tidak mempengaruhi kedua pihak (bersifat netral)
Nekrosis tulang : sel-sel mati pada jaringan tulang
Nits : lingkungan kecil (mikro environment) yang khusus bagi suatu jenis makhluk hidup
Nukleosida : nukleotida tanpa fosfat
Nullisomi : mutasi yang terjadi karena individu kehilangan dua buah kromosom
Ocelus : mata semu pada serangga
Osteosit : tulang sejati
Osifikasi : peristiwa peresapan bagian tulang yang rusak dan pergantian sel tulang baru
Osteoklast : jaringan lama akan diserap jaringan tulang berinti banyak
Ovipositor : peletak telur pada serangga
Ozon : lapisan gas yang menyelimuti bumi pada ketinggian ± 30 km diatas bumi.
Parasitisme : makhluk hidup yang merugikan makhluk inangnya
Parasit Fakultatif : makhluk hidup saprofit yang dapat juga berperan sebagai parasit dalam keadaan lingkungan tertentu, contohnya cendawan pada tanaman tembakau atau tomat
Parasit Obligat : parasit yang hanya dapat hidup pada makhluk hidup yang lain, contoh tali putri
Parenkima : jaringan dasar yang menempati suatu tempat, terdiri dari sel-sel hidup
Partenokarpi : merangsang pembentukan buah tanpa adanya penyerbukan
Partenogenesis : ovum yang tidak dibuahi dapat menjadi individu baru
Porogami : bila inti sperma masuk melalui mikropil
Pencandraan : menegenal ciri-ciri makhluk hidup melalui pengamtan visual
Pencemaran : perubahan yang tidak diinginkan pada lingkungan yang meliputi udara, daratan, air secara fisik, kimia, atau pun biologi
Perifiton : tumbuhan maupun hewan yang melekat atau bertengger pada batang, daun, akar tumbuhan atau pada permukaan benda lain
Piknidium : tubuh buah yang terdapat pada cendawan bermitospora
Pilus : saluran penghubung dalam transfer DNA dalam berkonjugasi pada bakteri
Piramida biomassa : makin rendah tinggkatan tropiknya makin besar biomassanya, meskipun jumlah individu mungkin sedikit

Piramida energi : proses perpindahan energi melalui tiap tingkatan tropik yang semakin lama semakin kecil

Piramida jumlah : makin rendah tingkatan tropiknya makin besar jumlah individunya

Polusi : pencemaran

Plankton : mikroorganisme yang hidup melayang-layang di air

Plasmogami : peleburan plasma dari dua sel, yang disusul oleh kariogami

Predasi : interaksi antar spesies, satu spesies yaitu predator memangsa (memakan) spesies yang lainnya yaitu mangsa

Polisom : kumpulan ribosom

Populasi : sekelompok makhluk hidup terdiri atas berbagai kumpulan yang saling berinteraksi sesamanya pada suatu tempat dan waktu tertentu

Progametangium : cabang lateral pada cendawan (fungi) yang membengkok sebagai stimulus akibat pertemuan hifa (+) dan hifa (-), yang kemudian tumbuh menjadi ”suspensor” dan gametongium multinukleat

Prokariotik : sel yang belum memiliki membran inti sehingga materi genetiknya berada dalam sitoplasma

Proliferasi : pertumbuhan disebabkan oleh pembelahan sel, bukan karena bertambah besarnya sel

Profag : DNA bakteriofag lamda yang menyisip pada materi genetik sel inang

Profundal : daerah di bawah daerah limnetik sampai pada dasar

Protokooperasi : interaksi menguntungkan kedua pihak

Protista : merupakan makhluk hidup eukariotik uniseluler atau multiseluler

Pseudoselom : rongga tubuh semu pada Nemathelminthes

Pterigota : serangga bersayap

Replikasi : peristiwa perbanyakan DNA

Regenerasi : peristiwa memperbanyak keturunan

Respirasi : proses pernafasan makhluk hidup

Rodentia : hewan mengerat

Sanitary landfill : metode pengolahan sampah terkontrol dengan sistem sanitasi yang baik

Saprofit : makhluk hidup yang hidup dari bahan organik mati

Sarkolema : selaput otot

Sarkoplasma : plasma yang terdapat pada jaringan otot

Sekresi : (1) proses pengeluaran zat yang disintesis oleh sel, (2) pada ginjal vertebrata, pelepasan limbah dari darah ke dalam filtrat yang berasal dari tubul nefron.

Siklus biogeokimia	:	siklus materi yang melibatkan senyawa-senyawa kimia yang berinteraksi dengan faktor fisik, terjadi di alam
Sinartrosis	:	gerak yang dilakukan sebanyak mungkin karena adanya struktur seperti kapsul dan cairan sinovial
Sinergis	:	gerak beberapa otot yang searah
Senositik	:	hifa yang tidak bersekat, sel multinukleat
Skoliosis	:	keadaan tulang belakang melengkung ke samping
Sklereid	:	sel batu, bentuk bulat, pada tempurung kelapa
Sporulasi	:	pelepasan merozoit dari sel darah merah yang terinfeksi *Plasmodium* sp
Sterigma	:	tangkai kecil menyerupai paku yang menyangga sporangium, konidium, atau basidiospora
Takson	:	tingkatan pengelompokkan makhluk hidup
Transduksi kapsid	:	pemindahan materi genetik dari sel bakteri yang satu ke sel bakteri yang lain dengan melalui perantara (berupa bakteriofag)
Transformasi	:	pemindahan materi genetik herupa DNA dari satu sel bakteri ke sel bakteri lain
Transpirasi	:	pengeluaran air tumbuhan yang berbentuk uap air ke udara bebas
Transport aktif	:	proses pengankutan makanan yang terjadi pada tumbuhan secara aktif
Triploblastik	:	tubuh terdiri dari 3 lapisan yaitu lapisan luar, tengah, dan dalam
Uniseluler	:	makhluk hidup bersel tunggal
Vaksin	:	varian patogen yang sudah dilemahkan atau bagiannya yang digunakan untuk menstimualsi sistem imunitas makhluk hidup inang untuk melawan patogen
Vaskuler	:	pengangkutan air dan garam-garam mineral melalui pembuluh pengangkut
Variabel	:	suatu faktor yang mempengaruhi suatu percobaan
Virion	:	virus tunggal raksasa yang berstruktur lengkap
Virulen	:	virus yang sifat penyerangan terhadap sel inangnya sangat aktif dan ganas sehingga sel inang tersebut cepat mati
Volunter	:	mekanisme kerja otot sadar

ISBN 978-602-8320-15-3
ISBN 978-602-8320-16-0

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 17,666,00