

BIOLOGI

BAB 1

HAKEKAT BIOLOGI DAN ASAL-USUL KEHIDUPAN

A. HAKEKAT KEHIDUPAN

Biologi berasal dari kata *bios* (hidup) dan *logos* (ilmu) sehingga biologi merupakan ilmu yang mempelajari kehidupan. Cabang ilmu biologi antara lain:

1. *Morfologi*, yaitu ilmu yang mempelajari penampilan fisik makhluk hidup.
2. *Anatomi*, yaitu ilmu yang mempelajari struktur tubuh makhluk hidup.
3. *Botani*, yaitu ilmu yang mempelajari tumbuhan.
4. *Zoologi*, yaitu ilmu yang mempelajari hewan.
5. *Mikrobiologi*, yaitu ilmu yang mempelajari mikro-organisme.
6. *Mikologi*, yaitu ilmu yang mempelajari jamur.
7. *Ekologi*, yaitu ilmu yang mempelajari hubungan makhluk hidup dengan lingkungan.
8. *Genetika*, yaitu ilmu yang mempelajari pewarisan sifat makhluk hidup.
9. *Taksonomi*, yaitu ilmu yang mempelajari tentang klasifikasi makhluk hidup.
10. *Evolusi*, yaitu ilmu yang mempelajari perkembangan dan kekerabatan makhluk hidup.

1. Aspek-aspek Ilmu Biologi

Biologi sebagai ilmu memiliki 3 aspek keilmuan.

- a. **Aspek Ontologi** (obyek keilmuan): obyek yang dipelajari Biologi adalah makhluk hidup dan hal-hal yang berkaitan dengannya.
- b. **Aspek metodologi** (cara mempelajari): pembelajaran Biologi yang benar yaitu menggunakan langkah-langkah khusus yang disebut metode ilmiah.
- c. **Aspek Aksiologi** (manfaat ilmu): Biologi memiliki

manfaat yang jelas baik bagi ilmu itu sendiri maupun bagi manusia.

2. Metode Ilmiah

Merupakan suatu cara penyelesaian permasalahan melalui tahapan-tahapan tertentu.

Langkah-langkah pemecahan masalah dengan metode ilmiah yaitu sebagai berikut.

1. Melakukan observasi.
2. Merumuskan masalah.
3. Mengumpulkan data untuk memecahkan masalah
4. Mengajukan hipotesis
5. Pengujian hipotesis dengan melakukan eksperimen/ percobaan.
6. Menarik kesimpulan.
7. Menguji kesimpulan dengan melakukan percobaan yang sama kembali, apabila didapatkan hasil konstan, maka hasil percobaan tersebut menjadi sebuah teori.

3. MANFAAT BIOLOGI

- Biologi memberikan manfaat bagi manusia untuk membantu mengenal dirinya sebagai manusia dan lingkungan sekitar serta membantu memecahkan permasalahan-permasalahan yang berkaitan dengan sumber makanan baru, sumber sandang dan papan, obat-obatan, bibit unggul pertanian.
- Manfaat biologi untuk ilmu itu sendiri, yaitu biologi berperan sebagai ilmu dasar (*basic science*) yang mendasari ilmu-ilmu lain seperti kedokteran, farmasi, dan sebagainya.

B. ASAL-USUL KEHIDUPAN

1. Evolusi Kimiawi

Haldane dan Oparin pada tahun 1920-an membuat postulat bahwa kondisi bumi primitif mendukung terjadinya reaksi kimia untuk mensintesis senyawa organik dari senyawa anorganik yang terdapat pada lautan purbakala.

Kemudian pada tahun 1953 Stanley Miller dan H. Urey menguji hipotesis Oparin-Haldane dengan melakukan percobaan menggunakan labu air (sebagai laut primitif) dan atmosfer buatan yang terdiri dari H_2O , H_2 , CH_4 , dan NH_3 (gas-gas yang diyakini para peneliti 1950-an, banyak terdapat di atmosfer purba). Kilatan listrik juga dibuat untuk meniru kilat pada masa purba. Memasang kondensor, sehingga uap menjadi embun. Membuat hujan buatan, sehingga terjadi sirkulasi pada peralatan tersebut. Setelah satu minggu, Miller dan Urey menganalisis isi larutan, ternyata berisi bahan organik seperti beberapa asam amino sebagai bahan penyusun protein pada organisme. Hipotesis Oparin-Haldane terbukti.

2. Evolusi Biologi

Merupakan proses evolusi dari supramolekul seperti membran sel, ribosom, kromatin, mikrotubulus menjadi sel prokariotik (sel belum memiliki membran inti/nukleoplasma) kemudian berkembang menjadi sel eukariotik yang memiliki membran inti sel dan organel-organel. Berdasarkan cara mendapatkan makanannya, perjalanan evolusi makhluk hidup adalah heterotrof, autotrof-heterotrof.

3. Teori-teori Asal Usul Kehidupan

a. Teori Abiogenesis (*Generatio spontanea*)

Teori ini dikemukakan oleh Aristoteles, seorang ahli filsafat dan ilmu pengetahuan Yunani kuno. Teori tersebut mengemukakan bahwa makhluk hidup pada mulanya berasal dari benda tak hidup.

b. Teori Biogenesis

- Francesco Redi (1626-1697)
Melakukan percobaan dengan 3 botol yang masing-masing berisi daging. Perlakuan yang diberikan pada botol pertama, yaitu ditutup rapat, botol kedua ditutup dengan kain kasa, dan ketiga dibiarkan terbuka. Hasilnya: setelah beberapa hari kemudian, pada botol tertutup rapat tidak ditemukan belatung, botol yang ditutup kasa ditemukan beberapa belatung, dan botol yang dibiarkan terbuka membusuk dengan banyak belatung

di dalamnya. Fenomena tersebut berlawanan dengan teori abiogenesis, karena belatung yang terdapat di dalam botol berpenutup kasa dan tak berpenutup berasal dari telur lalat yang hinggap di atasnya.

- Lazzaro Spallanzani (1729-1799)
Melakukan percobaan seperti Redi akan tetapi bahan yang digunakan bukan daging melainkan kaldu yang dimasukkan ke dalam botol. Perlakuan yang diberikan yaitu kaldu yang dipanaskan dengan botol berpenutup dan tidak. Pada kaldu yang dipanaskan dengan botol tak berpenutup, setelah beberapa hari kemudian diamati dengan mikroskop, tampak mikrobia di dalamnya berkembang pesat, sedangkan pada kaldu yang dipanaskan dalam botol tertutup tampak tidak mengandung mikrobia setelah didiamkan beberapa hari kemudian. Spallanzani menyimpulkan bahwa kehidupan hanya mungkin setelah ada kehidupan sebelumnya, jadi mikroorganisme tersebut telah ada dan tersebar di udara sehingga dapat mengkontaminasi dan tumbuh berkembang dalam air kaldu pada botol tak berpenutup.
- Louis Pasteur (1822-1895)
Pasteur melakukan percobaan menyempurnakan percobaan Spallanzani dengan merebus kaldu pada botol dengan penutup gabus rapat kemudian ditembus oleh pipa dengan bentuk leher angsa. Pipa berbentuk leher angsa tersebut bertujuan agar udara tetap masuk ke dalam botol, akan tetapi mikroorganisme pengkontaminan tertahan pada bagian leher botol, sehingga tidak mengkontaminasi kaldu. Setelah diamati beberapa hari, tampak tidak terjadi pertumbuhan mikroorganisme di dalamnya (kaldu jernih). Setelah itu labu tersebut dimiringkan hingga air kaldu menyentuh bagian ujung pipa berbentuk leher angsa. Setelah didiamkan beberapa waktu, air kaldu menjadi keruh, busuk dan banyak mengandung mikroorganisme.

Berdasarkan percobaan-percobaan yang dilakukan Redi, Spallanzani, dan Pasteur maka teori abiogenesis tumbang dan muncullah teori biogenesis "*Omne vivum ex ovo, omne ovum ex vivo*" (setiap makhluk hidup berasal dari telur, setiap telur berasal dari makhluk hidup).

A. KEANEKARAGAMAN HAYATI**1. Manfaat Keanekaragaman**

- Mengetahui ciri-ciri spesies.
- Mengetahui manfaat-manfaat spesies bagi manusia.
- Mengetahui hubungan kekerabatan makhluk hidup yang beragam.
- Mengetahui sifat ketergantungan antara makhluk hidup.

2. Macam-macam Keanekaragaman

- Keanekaragaman tingkat gen.**
Menimbulkan variasi genetik antarindividu dalam satu spesies/jenis. Contoh: padi (IR64, rojolele, cisadane, membramo, mentikwangi, super toy, merah putih, dan sebagainya).
- Keanekaragaman tingkat spesies.**
Menimbulkan perbedaan bentuk, penampakan antara satu spesies dengan yang lain. Contoh: macan, harimau, kucing, ikan lele, gurameh.
- Keanekaragaman tingkat ekosistem.**
Disebabkan oleh perbedaan komponen abiotik dan biotik penyusun ekosistem. Contoh: ekosistem waduk sempor, rawa jombor, danau Toba, sawah, hutan tropis.

B. KLASIFIKASI MAKHLUK HIDUP

- Klasifikasi merupakan upaya untuk mengelompokkan makhluk hidup secara sistematis berdasarkan persamaan dan perbedaan sifat yang dimiliki.
- Ilmu yang mempelajari klasifikasi adalah *ilmu taksonomi*.
- Metode penamaan obyek studi dalam klasifikasi disebut *nomenclature*.

1. Tahap-tahap Klasifikasi

- Identifikasi**
Identifikasi makhluk hidup yang memiliki persamaan, perbedaan ciri satu dengan yang lain baik morfologi, anatomi, fisiologi maupun kromosomnya.
- Pemberian nama**
Dilakukan setelah terbentuk kelompok-kelompok makhluk hidup berdasarkan persamaan ciri. Kemudian setelah diberikan nama, dilakukan penyusunan klasifikasi.

- Carolus Linnaeus** adalah seorang tokoh klasifikasi yang mengemukakan bahwa unit dasar dalam klasifikasi adalah spesies.
- Penamaan spesies dilakukan Linnaeus menggunakan tata penamaan ganda (*Binomial nomenclature*) sesuai dengan kode internasional yang benar.
- Nama bagian depan menunjukkan genus, sedangkan nama bagian belakang sebagai penunjuk spesies. Terkadang terdapat penamaan dengan tiga kata. Kata ketiga tersebut dapat berarti menunjukkan varietas.
Contoh: *Oryza sativa* var. IR64.

Contoh penamaan:

Hibiscus rosasinensis L

Hibiscus rosasinensis merupakan nama spesies, sedangkan huruf L dibelakang nama spesies menunjukkan nama penemu.

2. Urutan Takson dalam Klasifikasi

Klasifikasi hewan:	Klasifikasi tumbuhan:
Kingdom	Kingdom
Filum	Divisio
Kelas	Kelas
Ordo	Ordo
Familia	Familia
Genus	Genus
Spesies	Spesies

3. Perkembangan Sistem Klasifikasi

- Sistem 2 kingdom** (oleh Aristoteles sampai pertengahan tahun 1800).
Organisme dibedakan menjadi dua kelompok besar yaitu: **Plantae** dan **Animalia**
- Sistem 3 kingdom** (oleh E. Haeckel (1866)).
Pembagian ini berdasarkan cara makhluk memperoleh nutrisi:
 - Plantae (fotosintesis)
 - Protista (sebagai detritotrof/mengurai dan menyerap)
 - Animalia (sebagai organisme heterotrof yang menelan makanan dalam bentuk padat)
- E. Chatton (1937)**
Kelompok Eukariota dan Prokariota.
- Sistem 5 kingdom** (oleh R. H. Whittaker (1969)).

Monera (bakteri dan ganggang hijau biru), Protista (Protozoa dan ganggang), Fungi (jamur), Plantae (Bryophyta, Pterydophyta, dan Spermatophyta), dan Animalia

5. **Sistem 6 kingdom** (oleh Solomon (1999-2002)).

Bakteria, Arkhaea, Protista, Fungi, Animalia, dan Plantae.

Dalam sistem klasifikasi terbaru, makhluk hidup dikelompokkan ke dalam 3 domain yaitu sebagai berikut.

1. Domain Bakteria
Terdiri atas satu dunia yaitu dunia bakteria.
2. Domain Arkhaea
Terdiri atas satu dunia yaitu dunia arkhaea.

3. Domain Eukaria
Terdiri dari empat dunia yaitu dunia animalia, plantae, fungi dan dunia protista.

4. Manfaat Klasifikasi

Klasifikasi pada makhluk hidup mempunyai banyak manfaat, di antaranya sebagai berikut.

- a. Memudahkan untuk mengenal makhluk hidup.
- b. Memudahkan untuk mempelajari makhluk hidup.
- c. Mengetahui adanya hubungan kekerabatan antara makhluk hidup.

BAB 3

VIRUS DAN MONERA

A. VIRUS

Virus merupakan agensia penginfeksi nonseluler yang sangat kecil (20 - 300 nm). Virus pada awalnya ditemukan oleh A. Meyer seorang ilmuwan Jerman yang mengamati mosaik pada daun tembakau yang menyebabkan daun berbintik. Virus memiliki informasi genetik (DNA atau RNA saja). Informasi genetik tersebut diselubungi oleh protein disebut kapsid yang tersusun oleh kapsomer. Virus tidak memiliki protoplasma. Virus memiliki bentuk bervariasi seperti bulat, oval, bentuk T, dan bentuk batang. Virus dapat berkembang biak dengan cara duplikasi.

1. Daur Hidup Virus

Daur hidup virus ada dua macam, yaitu fase litik dan lisogenik.

a. Litik

- Adsorpsi (penempelan)
- Penetrasi
- Penggabungan
- Pembelahan

b. Lisogenik

- Adsorpsi
- Penetrasi
- Replikasi (penggandaan)
- Perakitan
- Fase Litik

2. Peranan Virus dalam Kehidupan Manusia

a. Virus yang merugikan

1) Virus penyebab penyakit pada tumbuhan

Tobacco mosaic Virus (TMV) yaitu penyakit bercak-bercak kuning pada tembakau, *Beet Yellow Virus* (BYV) yang dapat menyebabkan penyakit pada tanaman aster, juga virus CVPD pada jeruk.

2) Virus penyebab penyakit pada hewan

Rhabdovirus yaitu virus penyebab rabies pada anjing, *Polyma* yaitu virus penyebab tumor pada hewan, *NCD* (*New Castle Disease*) penyebab penyakit tetelo pada ayam.

3) Virus penyebab penyakit pada manusia

HIV (*Human Immunodeficiency Virus*) penyebab penyakit AIDS, *Virus Dengue* penyebab penyakit demam berdarah, *Paramyxovirus* penyebab penyakit campak.

b. Peranan virus yang menguntungkan

Kemampuan virus untuk menginfeksi bakteri (sebagai bakteriofag) dimanfaatkan dalam teknik rekayasa genetika untuk menghasilkan produk yang bermanfaat bagi kesejahteraan manusia. Selain itu, beberapa virus tertentu yang telah dilemahkan dapat dijadikan sebagai vaksin.

B. MONERA

Monera meliputi semua bakteri dan Cyanophyta (alga hijau biru).

1. Bakteri

Bakteri digolongkan menjadi *Arkhaeobacteria* dan *Eubacteria*. *Arkhaeobacteria* umumnya memiliki habitat di tempat yang ekstrim. Sedangkan *Eubacteria* dapat ditemukan di berbagai habitat.

a. Ciri-ciri bakteri

- 1) Bersel tunggal.
- 2) Pada umumnya memiliki tubuh dengan diameter $0,5\ \mu - 1\ \mu$ dengan panjang sekitar $0,1\ \mu - 1\ \mu$. Namun juga terdapat bakteri yang berukuran besar yaitu *Thiomargarita nambibiensis* ($750\ \mu$) dan *Epulofiscium fischellsoni* ($600\ \mu$).
- 3) Prokarioti, yaitu tidak memiliki sistem endomembran (kloroplas, mitokondria, membran inti).
- 4) Berperan sebagai dekomposer.
- 5) Dapat ditemukan di berbagai habitat (*ubiquity*).
- 6) Dapat digunakan sebagai agensia pengubah substrat menjadi produk yang dapat dimanfaatkan untuk kesejahteraan manusia.

b. Penggolongan bakteri

- 1) Bakteri sulfur hijau (*green sulfur bacteria*).
- 2) Bakteri sulfur ungu (*purple sulfur bacteria*).
- 3) Bakteri hijau biru (*Cyanobacteria*).
- 4) Bakteri gram positif (terpulas biru dengan pengecatan gram).
- 5) Bakteri gram negatif (terpulas merah dengan pengecatan gram).
- 6) Spiroseta.

c. Struktur bakteri

- 1) Terdapat dinding sel (tersusun dari peptidoglikan)
- 2) Ribosom
- 3) Membran sel
- 4) Cadangan makanan
- 5) Sitoplasma
- 6) DNA

d. Reproduksi bakteri

Bakteri pada umumnya berkembang biak dengan cara **aseksual** yaitu dengan **pembelahan biner**. Perkembangbiakan secara seksual tidak terjadi pada bakteri, melainkan berupa pemindahan materi genetik dari satu sel bakteri ke sel lain yang disebut **paraseksual**. Terdapat tiga macam paraseksual yaitu sebagai berikut.

1) Transformasi

Pemindahan sedikit materi genetik (DNA) bahkan hanya satu gen dari satu sel bakteri ke sel lain melalui proses fisiologi yang kompleks.

2) Konjugasi

Pemindahan materi genetik dari satu bakteri ke bakteri lain menggunakan pilus seks.

3) Transduksi

Pemindahan materi genetik dari satu sel bakteri ke sel lain dengan perantara virus.

e. Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri

Keberadaan nutrisi, CO_2 , O_2 , temperatur, derajat keasaman (pH), cahaya, kelembapan dan keberadaan zat kimia tertentu yang mampu menghambat pertumbuhan (seperti senyawa antibiotik streptomisin, penisilin, dan sebagainya).

f. Macam-macam bakteri

Berdasarkan cara memperoleh nutrisi, bakteri dibedakan menjadi:

- 1) **Bakteri autotrof**: mampu membuat makanan sendiri dari senyawa anorganik.
 - **Fotoautotrof** (menggunakan cahaya sebagai sumber energi. Contoh: *Cyanobacteria* dan *green sulfur bacteria*)
 - **Khemoautotrof** (menggunakan reaksi kimia/oksidasi senyawa anorganik sebagai sumber energi. Contoh: bakteri nitrifikasi dan *non-photosynthetic bacteria*).
- 2) **Bakteri heterotrof**: tidak mampu membuat makanan sendiri dari senyawa anorganik.

Berdasarkan kebutuhan akan oksigen, bakteri dibedakan menjadi:

- 1) **Bakteri Aerob**
- 2) **Bakteri Anaerob**

g. Peranan bakteri bagi kehidupan

1) Peran positif bakteri

- digunakan untuk menghasilkan produk-produk yang bermanfaat bagi manusia (antibiotik, yogurt, keju, *nata de coco*),
- membantu petani guna mempertahankan kesuburan tanah,
- membantu proses pembusukan dalam *colon* dan dalam pembentukan vitamin K,
- dapat digunakan sebagai pengendali hama.

2) Peran negatif bakteri

Terdapat beberapa bakteri penyebab penyakit seperti:

- *Escherichia coli* → penyebab diare,
- *Salmonella typhosa* → penyebab typhus,
- *Shigella dysenteriae* → penyebab disentri,

- *Diplococcus pneumoniae* → penyebab radang paru-paru,
- *Mycobacterium leprae* → penyebab penyakit lepra.

2. Alga Hijau-Biru (Cyanobacteria)

Merupakan mikroorganisme yang tidak memiliki membran inti sel (prokariotik) dan mampu melakukan fotosintesis.

a. Ciri-ciri alga hijau-biru

- Warna biru kehijauan disebabkan oleh pigmen *fikosianin*. Selain warna tersebut, alga ini juga memiliki warna kuning, merah, coklat dan hitam (tergantung komposisi pigmen yang dimiliki).
- Sel alga hijau-biru pada umumnya memiliki ukuran yang lebih besar dari sel prokariotik lain (berkisar antara 1-50 mikron).
- Alga hijau-biru dapat bersifat uniseluler (*Chroococcus*) maupun membentuk koloni (*Nostoc*) dan filamen (*Oscillatoria*).
- Alga hijau-biru yang berbentuk filamen memiliki bentuk sel khusus yang disebut *heterosista* yang di dalamnya terdapat *enzim nitrogenase* guna mereduksi nitrogen bebas menjadi amonia (proses fiksasi nitrogen).

b. Reproduksi alga hijau-biru

Caranya:

- 1) Pembelahan sel
- 2) Fragmentasi

c. Peran Alga Hijau-Biru

- Alga hijau-biru pada ekosistem air tawar berperan sebagai produsen bagi zooplankton, ikan-ikan kecil, dan udang.
- Beberapa spesies alga hijau-biru seperti *Anabaena azollae* juga dapat bersimbiosis dengan paku air *Azolla pinnata*. Simbiosis tersebut dapat memfiksasi nitrogen bebas, sehingga daerah perairan tersebut kaya akan unsur nitrogen.
- Bagi manusia alga hijau-biru dapat dimanfaatkan sebagai sumber pangan (misalnya *Spirulina* yang dikenal sebagai sumber makanan alternatif protein sel tunggal).

BAB 4 PROTISTA

Protista merupakan organisme eukariotik uniseluler yang hidup secara berkelompok (membentuk koloni) maupun soliter (sendiri-sendiri). Protista dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu protozoa, algae, dan jamur lendir.

A. PROTOZOA

Protozoa adalah protista yang menyerupai hewan. Protozoa bersifat uniseluler, heterotrof, mikroskopis, mampu membentuk kista, pada umumnya tidak memiliki dinding sel yang kuat, berhabitat di tempat berair/basah, di lautan berperan sebagai zooplankton. Berdasarkan perbedaan alat gerak, protozoa diklasifikasikan menjadi 4 kelas yaitu sebagai berikut.

1. Flagellata (Mastigophora)

Memiliki alat gerak berupa flagela.

- **Phytoflagellata:** menyerupai tumbuhan laut maupun perairan tawar, berklorofil, autotrof.

Contohnya: *Noctiluca miliaris* yang menyebabkan laut berpendar pada malam hari.

- **Zooflagellata:** tidak berklorofil, bersifat heterotrof. Contohnya:

- *Trypanosoma crusi* → anemia,
- *Trypanosoma gambiense* → penyebab penyakit tidur,
- *Leishmania donovani* → penyakit kalaazar.

2. Ciliata (Ciliophora)

Memiliki alat gerak berupa rambut getar pada saat masih muda atau sepanjang hidupnya, pada umumnya bersifat parasit dan hidup di air tawar. Contohnya: *Paramecium*.

3. Rhizopoda (Sarcodina)

Memiliki alat gerak berupa kaki semu, hidup bebas atau sebagai parasit, berhabitat di dasar kolam atau sungai beraliran tenang yang banyak terdapat pada sisa organisme mati, bentuk tubuh tidak tetap. Contohnya:

Amoeba.

4. Sporozoa

Tidak memiliki alat gerak khusus, bersifat parasit, bereproduksi dengan pembelahan biner. Contohnya:

- *Plasmodium vivax* → malaria tertiana (2 x 24 jam),
- *Plasmodium malaria* → malaria quartana (3 x 24 jam),
- *Plasmodium falciparum* → malaria tropika (tidak menentu),
- *Plasmodium ovale* → malaria ovale (gejala menyerupai malaria tertiana).

Perkembangbiakan *Plasmodium* sp.:

a. Secara Vegetatif

Dilakukan dengan **schizogoni** yaitu proses membelah diri (berlangsung dalam tubuh inang/manusia) dan **sporogoni** yaitu membuat spora (berlangsung dalam tubuh inang/manusia).

b. Secara Generatif

Melalui perkawinan sel-sel gamet (terjadi pada tubuh inang sementara /nyamuk). Sel gamet jantan (mikrogamet) berukuran lebih kecil dari sel gamet betina (makrogamet).

B. ALGAE

Algae merupakan jenis protista yang menyerupai tumbuhan. Algae merupakan salah satu jenis Thalophyta (tumbuhan bertalus), bersifat uniseluler maupun multiseluler, berhabitat di tempat basah/berair, memiliki klorofil dan pigmen tambahan lain, mampu membentuk gamet dalam alat pembiakan bersel satu. Berdasarkan pigmen dominan yang dimiliki, algae/ganggang dibagi mejadi 4 kelas.

1. Chlorophyta (Alga Hijau)

Merupakan kelompok algae yang terbesar, bersifat uniseluler maupun multiseluler, pada umumnya berhabitat di darat (melekat pada tumbuhan atau hewan) dan di laut (berperan sebagai plankton atau bentos). Bereproduksi secara vegetatif (fragmentasi) dan generatif (konjugasi). Macam-macam:

- Chlorophyta bersel satu → *Euglena* (dapat bergerak) dan *Chlorella*),

- Chlorophyta berbentuk koloni → *Volvox* (dapat bergerak) dan *Hydrodictyon*,
- Chlorophyta bentuk benang → *Spyrogyra* dan *Oedogonium*),
- Chlorophyta berbentuk lembaran → *Ulva* dan *Chara*.

2. Phaeophyta (Alga Cokelat)

Bentuknya menyerupai tumbuhan tingkat tinggi. Berhabitat di laut khususnya wilayah yang bersuhu rendah, memiliki klorofil dan fukosantin (yang menyebabkan algae berwarna cokelat), berkembang biak secara vegetatif (dengan zoospora berflagela) dan generatif (dengan sel telur dan spermatozoid pada konseptakulum dalam reseptakulum yang terletak di ujung lembaran fertil)

3. Chrysophyta (Algae Keemasan)

Bersifat uniseluler (misalnya *Navicula*) maupun multiseluler, berwarna kuning hingga keemasan dikarenakan adanya pigmen karoten. Berhabitat di tempat basah, di perairan tawar atau laut (berperan sebagai ditoplankton).

4. Rhodophyta (Algae Merah)

Bersifat multiseluler, berbentuk seperti benang maupun lembaran, memiliki pigmen klorofil sedangkan yang dominan adalah fikoeitritin (yang menyebabkan algae berwarna merah), berhabitat di perairan tawar maupun laut (zona dalam), tidak memiliki alat gerak, berkembang biak dengan peleburan gamet jantan dan betina yang nantinya membentuk individu diploid (2n). Contoh Rhodophyta: *Glacilaria* dan *Gelidium* (untuk agar-agar).

C. JAMUR LENDIR/SLIME MOLDS

Protista yang menyerupai jamur. Memiliki fase asimilatif (bentuk berupa lendir) dan fase plasmodium (fase bergerak dan merayap). Jamur lendir akan memasuki fase reproduksi seksual (plasmogami → kariogami → meiosis) apabila saat fase plasmodium telah mengering dan membentuk kotak spora yang menghasilkan spora. Setelah spora terbentuk, dua plasma dari spora mengalami peleburan dan

Fungi merupakan organisme eukariotik, dengan sifat:

- tidak memiliki klorofil,
- bersifat heterotrof, terkadang ada yang parasit dan saproba (pengurai),
- fungi bersifat uniseluler maupun multiseluler dengan membentuk hifa yang bercabang-cabang membentuk miselium,
- fungi berhabitat di tempat yang lembab, kurang cahaya matahari, dan cenderung asam,
- perkembangbiakan fungi dapat secara seksual (dengan konjugasi askospora maupun basidio-spora) dan secara aseksual (pembentukan spora, membelah diri, fragmentasi, dan dengan konidium).

Fungi dibagi menjadi 4 divisi yaitu sebagai berikut.

1. Ascomycotina

- Merupakan fungi kantung, menghasilkan spora seksual di dalam aski menyerupai kantung.
- Bersel satu (*Saccharomyces*/jenis khamir) maupun multiseluler (membentuk miselium bersekat → seperti *Penicillium*).
- Reproduksi terjadi secara aseksual yaitu dengan membentuk konidia (spora vegetatif), pembentukan tunas dan seksual dengan konjugasi antara dua gametangia menghasilkan zigot (2n) → membesar menjadi askus (di dalamnya terjadi meiosis dan terbentuk 4 sel askospora (n) yang merupakan spora generatif). Reproduksi seksual dan aseksual dengan pertunasan terjadi pada Ascomycota bersel satu seperti khamir *Saccharomyces*. Sedangkan pada Ascomycota multiseluler, **askospora** yang merupakan **spora generatif** dibentuk pada ujung hifa.

2. Basidiomycota

- Merupakan fungi yang berbentuk seperti gada, bagian bawah tudung sebagai tempat terbentuknya basidium (tepatnya pada ujung hifa generatif yang berinti dua/dikariotik).
- Hidup sebagai saprofit.
- Reproduksi secara seksual dengan membentuk tubuh buah yang rumit disebut basidiokarpus (di dalamnya terdapat basidia sebagai sumber spora seksual atau basidiospora). Reproduksi aseksual dengan pembentukan spora vegetatif yaitu konidia.
- Hifa bersekat dan hifa vegetatifnya memiliki satu inti bersifat haploid.

- Contoh: *Auricularia polytricha* (jamur kuping), *Volvariella volvacea* (jamur merang), *Mikorrhiza* (hasil simbiosis dengan akar pohon mlinjo/pinus).

3. Zygomycotina

- Hifa bersekat dan tidak bersekat, dinding sel dari bahan kitin.
- Hidup sebagai saprofit.
- Reproduksi seksual, zigot tumbuh menjadi sporangium disebut zigosporangium yang di dalamnya terjadi pembelahan meiosis yang menghasilkan dua macam zigospora (n). Reproduksi aseksual dengan pembentukan spora pada sporangium yang berada di hifa aerial.

4. Deuteromycotina

- Fungi ini belum diketahui proses reproduksi seksualnya, sedangkan reproduksi aseksual dengan pembentukan hifa vegetatif yaitu konidia.
- Hidup sebagai saprofit dan parasit (tanaman).
- Contoh: *Aspergillus wentii* (berperan dalam pembuatan kecap).

Manfaat Fungi

Fungi yang menguntungkan manusia.

- Aspergillus oryzae* → membuat tempe.
- Aspergillus wentii* → membuat kecap.
- Neurospora sitophila* → membuat keju.
- Saccharomyces cerevisiae* → roti.
- Volvariella polytricha* → dapat dimakan.
- Rhizopus nigricans* → penghasil asam fumarat.
- Penicillium notatum* & *P. chrysogenum* → antibiotik penisilin.

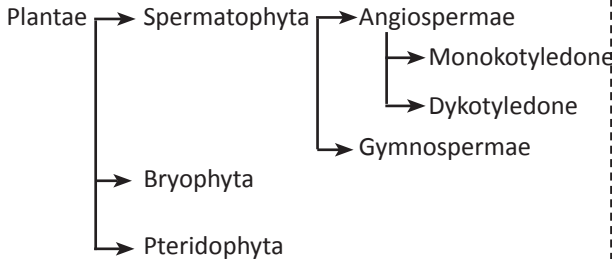
Fungi yang merugikan manusia.

- Aspergillus niger* → penyebab penyakit otomikosis pada manusia.
- Phytophthora infestans* → parasit pada kentang.
- Puccinia graminis* → parasit pada tanaman gandum.

LICHEN

Lichen bukanlah lumut, tumbuhan sederhana, maupun organisme individual. Lichen merupakan asosiasi simbiotik dari berjuta-juta mikroorganisme fotosintetik (alga hijau uniseluler/multiseluler maupun Cyanobacteria) yang disatukan dalam jaringan hifa fungi (Ascomycetes maupun Basidiomycetes). Lichen berkembang biak dengan fragmentasi atau dengan soredium.

Merupakan organisme multiseluler, autotrof, bereproduksi secara generatif dan vegetatif, vaskuler dan nonvaskuler.



A. TUMBUHAN BERBIJI (SPERMATOPHYTA)

Kelompok tumbuhan berbiji menggunakan biji sebagai alat reproduksi generatif. Ciri-ciri spermatophyta:

- Menghasilkan biji yang terdapat embrio.
- Memiliki organ tubuh yang terdiri dari akar, batang, dan daun. Serta di dalam organ-organ tersebut sudah terdapat jaringan-jaringan yang kompleks seperti jaringan pengangkut, parenkim.
- Alat reproduksi jantan dan betina terpisah.
- Sporofit merupakan tanaman utama dan gametofit pada spermatophyte mengalami reduksi.

Divisi spermatophyta dibagi menjadi 2 subdivisi yaitu Gymnospermae dan Angiospermae. Ciri-cirinya adalah sebagai berikut.

1. Gymnospermae

- Berbiji terbuka.
- Berakar tunggang, daun sempit, tebal dan kaku (misalnya daun pinus).
- Batang dan akar berkambium.
- Biji terdapat dalam daun buah (makrosporofil) dan serbuk sari terdapat dalam mikrosporofil.
- Berkas pembuluh pengangkut pada akar dan batang belum menyatu dengan sempurna.
- Terjadi pembuahan tunggal, selang waktu antara pembuahan dan penyerbukan cukup lama.

Contoh spesies: *Gnetum gnemon* (melinjo), *Cycas rumphii* (pakis haji), *Pinus* sp.

2. Angiospermae

- Memiliki bunga yang sesungguhnya (terdiri dari kelopak, mahkota, benang sari dan putik).

- Bakal biji tertutup, terdapat di dalam daun buah (putik).
- Terjadi pembuahan ganda:
Peleburan inti generatif + ovum → embrio (lembaga)
Peleburan inti generatif + inti kandung lembaga sekunder → calon endosperma (berfungsi sebagai cadangan makanan saat perkecambahan)
 Selang waktu penyerbukan dengan pembuahan relatif singkat.
- Subdivisi Angiospermae dibagi menjadi dua kelas yaitu:
 - Monokotyledonae* (tumbuhan berkeping satu).
 - Dicotyledonae* (tumbuhan berkeping dua).

Perbedaan ciri-ciri monokotil dan dikotil.

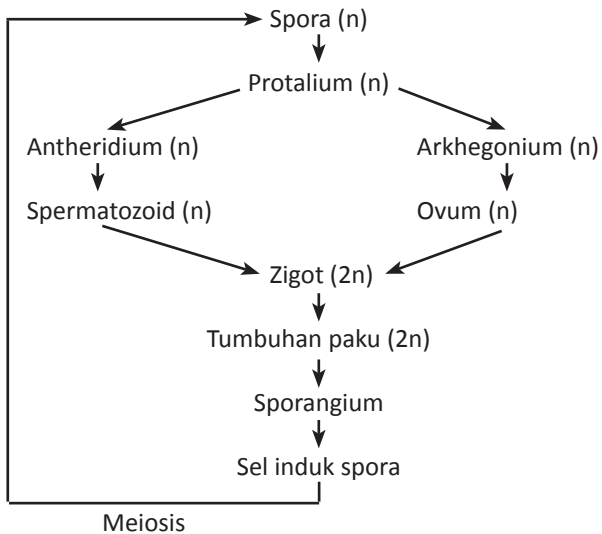
Monokotil	Dikotil
Pertulangan daun berbentuk sejajar dan melengkung.	Pertulangan daun menyirip dan menjari.
Kotiledon pada setiap biji terdapat 1 buah.	Kotiledon pada setiap biji terdapat 2 buah.
Terdapat koleorhiza batang lembaga (koleoptil) sebagai pelindung ujung akar dan batang lembaga.	Tidak terdapat koleorhiza batang lembaga.
Memiliki kaliptra (tudung akar).	Tidak memiliki.
Tidak memiliki kambium pada akar dan batang.	Memiliki kambium.
Perakaran sistem akar serabut.	Perakaran sistem akar tunggang.
Akar dan batang tidak dapat tumbuh membesar.	Dapat tumbuh membesar.

B. TUMBUHAN PAKU (PTERYDOPHYTA)

Tubuhnya sudah dapat dibedakan menjadi akar, batang dan daun. Batang bercabang-cabang dan tersusun dari epidermis, korteks, dan silinder pusat. Memiliki berkas pengangkut yang tersusun konsentris (xilem dikelilingi floem). Daun terdapat yang kecil (mikrofil) dan yang besar (makrofil). Tumbuhan paku dibagi menjadi 4 kelas: Pailophytinae, Equisetinae, Lycopodinae, dan Felicinae. Berdasarkan spora yang dihasilkan, tumbuhan paku dibagi menjadi 3 golongan:

- Paku homospor (menghasilkan spora yang memiliki persamaan bentuk dan fungsi).
Misal: *Lycopodium* sp.
- Paku heterospor (menghasilkan spora yang memiliki perbedaan dalam bentuk dan fungsi).
Misal: *Adiantum* sp. dan *Marsilea* sp.

3. Paku peralihan (menghasilkan spora yang bentuknya sama tetapi berbeda fungsinya).
Misal: *Equisetum* sp. (paku ekor kuda)

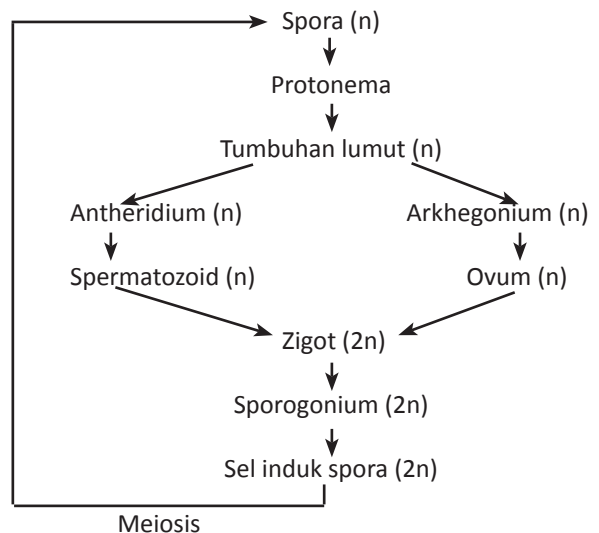


Sporangium tumbuhan paku terkumpul dalam sorus yang dilindungi selaput indusium. Tumbuhan paku bereproduksi dengan metagenesis (pergiliran keturunan).

- **Fase gametofit:** dimulai dari protalium hingga menghasilkan zigot.
- **Fase sporofit:** dimulai dari tumbuhan paku hingga menghasilkan spora.

C. TUMBUHAN LUMUT (BRYOPHYTA)

Tubuh terdiri dari bagian gametofit (penghasil gamet) dan sporofit (generasi penghasil spora). Lumut dianggap sebagai bentuk peralihan antara tumbuhan bertalus (thalofita) dan tumbuhan berkormus (kromofita). Lumut memiliki batang semu, daun semu, dan akar semu (rhizoid). Lumut belum memiliki jaringan pembuluh angkut (xilem dan floem). Tumbuhan lumut bereproduksi dengan metagenesis (pergiliran keturunan). Berkembang biak secara vegetatif (dengan spora maupun kuncup) dan generatif (bersatunya gamet jantan dan betina membentuk sporogonium yang menghasilkan spora haploid). Pada lumut, **gametofit** merupakan generasi yang dominan serta berumur panjang (**tumbuhan lumut itu sendiri**).



BAB 7 ANIMALIA

Animalia dikelompokkan menjadi invertebrata dan vertebrata.

A. INVERTEBRATA

1. Porifera (Hewan Berpori)

- Diplobastik (terdiri dari 2 lapisan; ektoderm dan endoderm).
- Bersel banyak, radial simetris.
- Memiliki pori-pori (**ostia**) di seluruh tubuhnya, yang memiliki saluran rongga (**spongocoel**), pada ujung bebasnya terdapat lubang oskulum.

- Memiliki rangka tubuh yang berbentuk seperti duri (spikula).
- Reproduksi secara asexual dengan pembentukan kuncup dan seksual dengan pembuahan internal.
- Klasifikasi dibagi menjadi 3, yaitu:

a. Calcarea

Spikula tersusun dari zat kapur. Contoh: *Sycon* sp.

b. Hexactinellida

Spikula tersusun dari zat kersik. Contoh: *Pheronema* sp.

c. Demospongia

Tidak memiliki rangka atau rangka terdiri dari serabut sponging dengan rangka berupa duri. Contoh: *Spongilla* sp.

2. Coelenterata (Hewan Berongga)

- Diplobastik (terdiri dari 2 lapisan: ektoderm dan endoderm).
- Bersel banyak, tubuh tidak bersegmen, memiliki rongga pencernaan (rongga gastrovaskuler).
- Memiliki tentakel yang dilengkapi dengan knidoblas dan nematokis.
- Tubuh berbentuk polip atau medusa.
- Rangka disusun oleh zat kapur atau tanduk.
- Reproduksi seksual dengan membentuk gamet dan aseksual dengan membentuk tunas. Memiliki 2 bentuk kehidupan yaitu polip dan medusa.
- Coelenterata belum memiliki alat peredaran darah, pernafasan dan ekskresi.
- Klasifikasi Coelenterata dibagi menjadi:
 - a. **Hydrozoa**
Tubuh hewan dewasa berbentuk polip.
Contoh: *Hydra* sp.
 - b. **Scyphozoa**
Tubuh hewan dewasa berbentuk medusa.
Contoh: *Aurelia* sp.
 - c. **Anthozoa**
Tubuh hewan dewasa berbentuk polip.
Contoh: *Fungia* sp.
 - d. **Ctenophora**
Contoh: *Pleurobranchia*.

3. Platyhelminthes (cacing pipih)

Platyhelminthes dibagi menjadi 3 kelas yaitu:

- a. Tubelaria
Hidup bebas, permukaan tubuh ditutupi oleh silia.
Contoh: *Planaria* sp.
- b. Trematoda
Cacing hisap, bersifat parasit, memiliki alat hisap di sekitar mulut, memiliki saluran pencernaan.
Contoh: *Fasciola hepatica*, *Chlonorcis sinensis*, *Fasciolopsis butskii*, *Scistosoma* sp.
- c. Cestoda (cacing pita)
Tubuh bersegmen-segmen (proglotid), kepala (skoleks) dilengkapi alat penghisap berkait (rostelum), tidak memiliki mulut dan saluran pencernaan. Contoh spesies: *Taenia solium*, *T. saginata*, *Diphyllobotrium latum*, dsb.

4. Nemathelminthes (cacing gilig)

Tubuh berbentuk gilig, triplobastik (ektoderm, mesoderm, endoderm), memiliki rongga tubuh semu (pseudocoelom), reproduksi secara seksual dengan perkawinan antara jantan dan betina, alat eksresi berupa protonefridia.

Contoh spesies: *Necator americanus* (cacing tambang daerah Amerika), *Ascaris lumbricoides*, *Ancylostoma duodenale* (cacing tambang daerah Asia Afrika), *Oxyuris vermicularis* (kremit), dsb.

5. Annelida (cacing gelang)

Tubuh berbentuk gilig dan bersegmen-segmen, triplobastik, memiliki rongga tubuh, reproduksi secara seksual dengan perkawinan antara jantan dan betina, alat ekskresi berupa nefridia. Berdasarkan keberadaan rambut (cetae) pada tubuhnya, Annelida dibagi menjadi:

- a. **Polychaeta**
Tubuh ditutupi banyak rambut dan memiliki parapodia untuk berjalan. Contoh: *Lycidice* sp. (cacing wawo) dan *Eucinice viridis* (cacing palolo).
- b. **Oligochaeta**
Tubuh ditutupi sedikit rambut dan tidak memiliki parapodia. Contoh: *Pheretima* sp. dan *Lumbricus terrestris* (cacing tanah).
- c. **Hirudinea**
Tubuh tidak ditutupi rambut dan memiliki alat hisap di sekitar mulutnya. Contoh: *Hirudo medicinalis* (lintah) dan *Haemodipsa zeylanica* (pacet).

6. Echinodermata

Tubuh tidak bersegmen-semen dan ditutupi oleh epidermis yang dilengkapi dengan duri-duri kapur, memiliki kaki amburakral, reproduksi seksual dengan pembuahan eksternal dan aseksual dengan regenerasi bagian-bagian tubuh dan pembelahan sel. Berdasarkan bentuk tubuhnya, Echinodermata dibagi menjadi:

- a. **Asteroidea (bintang laut)**
Tubuh berbentuk bintang dengan 5 lengan.
Contoh: *Asteroidea forberi* (bintang laut).
- b. **Ophiuroidea (bintang ular)**
Tubuh berbentuk bola cakram kecil dengan 5 lengan panjang. Contoh: *Ophiotrix fragilis* (bintang ular).
- c. **Holothuroidea (teripang)**
Tubuh bulat memanjang seperti mentimun dan tidak berduri. Contoh: *Holothuria* sp.
- d. **Crinoidea (lili laut)**
Tubuh menyerupai tumbuhan lili.
Contoh: *Metacrinus interruptus* (lili laut).
- e. **Echinoidea (landak laut)**
Tubuh berbentuk bola atau oval tanpa lengan.
Contoh: *Diadema saxatile* (bulu babi).

7. Mollusca

Memiliki tubuh yang lunak, tidak bersegmen, bilateral simetris, bercangkang dan ada yang tidak memiliki cangkang (cumi-cumi), reproduksi seksual dengan fertilisasi internal. Mollusca dibagi menjadi 3 kelas:

a. Pelecypoda/Bivalva/Lamellibranchiata

Kaki pipih, memiliki cangkang berjumlah sepasang, cangkang tersusun dari 3 lapisan.

b. Cephalopoda

Kaki berada di bagian kepala (cephalopoda), tidak memiliki cangkang (kecuali *Nautilus* sp.), memiliki kantung tinta untuk perlindungan diri. Contoh *Loligo indica* (cumi-cumi) dan *Octopus* sp. (gurita).

c. Gastropoda

Kaki berada di bagian perut (gastropoda), memiliki cangkang (kecuali *Vaginula* sp.). Contoh: *Achatina fulica* (berkicot) dan *Lymnaea* sp.

8. Arthropoda

Tubuh terbagi menjadi ruas kepala (*cephalus*), dada (*thoraks*), dan perut (*abdomen*), triploblastik, rangka luar tersusun dari zat kitin, reproduksi seksual dengan fertilisasi internal maupun eksternal, alat pernafasan disebut paru-paru buku. Arthropoda dibagi menjadi 4 kelas:

a. Crustacea

Tubuh terbagi menjadi cephalothoraks (persatuan kepala dan dada) dan abdomen (perut), memiliki mata majemuk, reproduksi seksual dengan fertilisasi eksternal. Contohnya : *Leander* sp. (udang).

b. Myriapoda

Tubuh terbagi menjadi kepala dan perut (tidak memiliki dada), perut bersegmen-segmen, pada setiap segmen terdapat sepasang kaki. Kelas Myriapoda dibagi menjadi 2 ordo yaitu: Diplopoda (tubuh pipih, contoh: lipan) dan Chilopoda (tubuh gilig, contoh: keluwing).

c. Arachnoidea

Tubuh terbagi menjadi cephalothoraks dan abdomen, memiliki 2 pasang mulut yaitu kelisera dan pedipalpus. Arachnoidea dibagi menjadi 3 ordo.

- Scorpionida. Contoh: *Theophonus caudatus* atau kalajengking.
- Arachnida. Contoh: *Mastigopractus giganteus* atau laba-laba raksasa.
- Acarina Contoh: *Sarcoptes scabiei* atau caplak dan *Trobikula akamushi* atau tungau.

d. Insecta

Tubuh terbagi menjadi kepala, dada, dan perut, memiliki 3 pasang kaki pada bagian dada dan pada umumnya bersayap. Berdasarkan keberadaan sayap, Insecta dibagi menjadi: Pterygota (bersayap dan mengalami metamorfosis) dan Apterygota (tak bersayap dan tidak mengalami metamorfosis). Pterygota dibagi menjadi Eksopterygota dan Endopterygota.

a. Eksopterygota, dibagi menjadi 4 ordo

- Hemiptera (walang sangit)
- Homoptera (bersayap sama; contoh: wereng)
- Orthoptera (belalang, kecoa)
- Isoptera

b. Endopterygota, dibagi menjadi 6 ordo

- Diptera (sayap sepasang; contoh: nyamuk, lalat,)
- Hymenoptera (sayap selaput; lebah madu)
- Siphonoptera (kutu manusia)
- Coeloptera (sayap tebal dan keras; contoh:kumbang, kepik, kunang-kunang)
- Lepidoptera (ngengat)
- Neuroptera (undur-undur)

B. VERTEBRATA

Chordata (hewan yang memiliki chorda dorsalis) dibagi menjadi 4 subfilum yaitu Hemichordata, Urochordata, Cephalochordata, dan Vertebrata (memiliki ruas tulang belakang). Subfilum Vertebrata dibagi menjadi 7 kelas yaitu:

1. Chondrichthyes

Ikan bertulang rawan, memiliki rahang, jantung beruang dua, mulut terletak di daerah ventral kepala, insang terletak di bagian luar dan tidak memiliki penutup. Contoh: ikan pari dan hiu.

2. Osteichthyes

Ikan bertulang sejati, insang tertutup oleh tutup insang, tutup tertutup oleh sisik yang terbentuk melalui proses osifikasi, jantung memiliki 1 serambi dan 1 bilik, berdarah dingin tetapi suhu badan tidak dipengaruhi suhu lingkungan. Contoh: lele, gurameh, belut.

3. Agnatha

Bentuk menyerupai ikan, tidak memiliki rahang, dan tidak bersisik, rangka tersusun dari tulang rawan, sirip tidak berpasangan, jantung memiliki 1 bilik. Contoh: belut laut dan ikan lamprey (*Pteromyzon* sp.)

4. Amphibia

Berhabitat di darat maupun air, larva berhabitat di air dan bernafas dengan insang, larva berkembang, bernafas dengan insang dalam, setelah dewasa bernafas dengan paru-paru dan kulit, jantung memiliki 2 serambi dan 1 bilik, mengalami metamorfosis, berdarah dingin dan suhu tubuh dipengaruhi lingkungan, berkembang biak dengan bertelur dan fertilisasi eksternal. Contoh: kodok, katak.

5. Reptilia

Telah beradaptasi hidup di lingkungan darat, memiliki dua pasang tungkai yang berkuku dan pada Reptilia yang hidup di lingkungan akuatik tungkainya berubah berselaput, kulit kering bersisik dari zat tanduk serta pada umumnya tidak memiliki keel, sel darah merah berinti, jantung terdiri dari 2 serambi dan 2 bilik serta sekat antara bilik kanan dan kiri belum sempurna. Contoh: kadal, biawak, iguana.

6. Mamalia

Pada umumnya berhabitat di darat, pada kulit terdapat kelenjar minyak, keringat, mamalia darat anggota gerak

bebas berupa tungkai depan dan tungkai belakang, bentuk kaki disesuaikan dengan fungsinya, sisik bermodifikasi menjadi rambut, bersifat homoiotherm (suhu tubuh tetap), pernafasan dengan paru-paru, jantung terdiri dari bilik kanan dan kiri serta serambi kanan dan kiri, sekat sudah sempurna, sel darah merah tidak berinti, otak sudah berkembang dengan baik, fertilisasi internal.

Contoh: kucing, kancil, monyet.

7. Aves

Pada umumnya berhabitat di darat walaupun terdapat Aves yang mencari makanan di air, anggota gerak depan berupa sayap, berdarah panas dengan suhu tubuh tetap, fertilisasi secara internal, jantung 2 serambi dan 2 bilik serta sekatnya telah sempurna, alat pernafasan paru-paru dan pundi-pundi hawa (pada burung-burung yang terbang), testis sepasang berkembang dengan baik sedangkan ovarium yang berkembang hanya sebelah kiri, rangka tubuh terdiri dari tulang-tulang yang kuat dan berisi udara.

Contoh: ayam, bebek, blekok, kuntul.

BAB 8

PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN PADA TUMBUHAN

A. PERTUMBUHAN TUMBUHAN

1. Pertumbuhan Primer

Merupakan pertumbuhan akibat aktivitas jaringan meristem yang aktif membelah.

- Pembelahan sel*: terjadi pada bagian titik tumbuh akar dan batang serta pada jaringan kambium (bersifat meristematik).
- Pembentangan sel*: sel pada bagian meristem primer akar dan batang setelah mengalami pembelahan secara apikal, akan mengalami pemanjangan yang mengakibatkan pertambahan panjang akar dan batang.
- Diferensiasi sel*: setelah sel mengalami pemanjangan dan pendewasaan, sel akan mengalami diferensiasi (perubahan ke bentuk lain).

Berdasarkan teori *Histogen* dari **Hasenstein**, titik tumbuh pada ujung akar dan batang dibagi menjadi tiga.

- Dermatogen* (lapisan terluar) → membentuk epidermis.
- Periblem* (lapisan tengah) → membentuk korteks.
- Plerom* (lapisan dalam) → membentuk stele (silinder pusat).

Berdasarkan teori *Tunika Korpus* dari **Schmidt**, titik tumbuh akar dibedakan menjadi 2 bagian.

- Bagian tunika*: terdiri beberapa lapis sel pada bagian terluar akar yang aktif membelah sehingga ujung akar akan bertambah luas.
- Bagian korpus*: terdiri dari beberapa lapis sel pada bagian dalam dan aktif membelah ke segala arah.

Pada tumbuhan monokotil, pertumbuhan primer juga terjadi pada meristem interkalar yang terdapat di buku-buku batang. Contoh: pohon kelapa dan bambu.

2. Pertumbuhan Sekunder

Merupakan pertumbuhan akibat aktivitas kambium (jaringan yang telah dewasa) bersifat meristematik kembali. Pertumbuhan sekunder mengakibatkan diameter dan panjang tumbuhan bertambah. Dua meristem lateral yang berfungsi untuk pertumbuhan sekunder:

- Kambium vaskuler*: menghasilkan xilem sekunder (kayu) dan floem.
- Kambium gabus (felogen)*: pertumbuhan ke luar membentuk felem dan ke dalam membentuk feloderm. Kambium interfasis juga berfungsi dalam pertumbuhan sekunder untuk membentuk jari-jari empulur.

B. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PERTUMBUHAN TUMBUHAN

Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan:

- Faktor dari dalam*: faktor genetik dan hormonal.
- Faktor luar*: nutrisi, suhu, cahaya, air, kelembaban, derajat keasaman tanah (pH).

Pertumbuhan juga dapat dipicu dengan adanya penambahan zat pengatur tubuh (ZPT)/hormon sintetis. Macam-macam hormon pada tumbuhan dan fungsinya adalah sebagai berikut.

- Auksin*: perpanjangan sel, diferensiasi, percabangan akar, fototropisme dan geotropisme, perkembangan buah, serta dominansi apikal.
- Sitokinin*: pembelahan sel, diferensiasi sel, dan antidominansi apikal.
- Giberelin*: memicu perkecambahan biji, aktivitas kambium, memicu pembungaan sebelum waktunya, meningkatkan pembelahan sel.
- Etilen*: memicu pemasakan buah, pengguguran daun.
- Asam absisat*: berfungsi untuk menghambat pertumbuhan saat kondisi lingkungan tidak memungkinkan untuk pertumbuhan dengan cara:
 - mempertahankan dormansi,
 - menghambat pertumbuhan,
 - menutup stomata.
- Kalin*: merupakan hormon yang mempengaruhi pertumbuhan organ. Hormon kalin dibagi menjadi:
 - *Rhizokalin*: merangsang pertumbuhan akar
 - *Kaulokalin*: merangsang pertumbuhan batang
 - *Filokalin*: merangsang pertumbuhan daun
 - *Antokalin*: merangsang pertumbuhan bunga

C. PERKEMBANGAN PADA TUMBUHAN

Perkembangan pada tumbuhan ditunjukkan dengan bertambahnya organ-organ pada tumbuhan seperti daun, munculnya bunga, juga pembentukan buah. Buah berbiji itu sendiri merupakan hasil perkembangan dari bakal biji dewasa yang telah menjadi embrio dan ovarium (menjadi daging buah). Perkembangan tersebut terjadi pada putik bunga.

D. PERKEMBANGAN PADA HEWAN

1. Perkembangan Embrio

Fertilisasi → Zigot → Morula (zigot yang membelah secara terus menerus membentuk bola sel padat) → **Blastula** (Setelah di dalam morula terbentuk rongga yang penuh cairan) → **Gastrula** (menghasilkan ektoderm, endoderm, dan mesoderm) → mengalami diferensiasi serta organogenesis.

2. Perkembangan Fase Pascaembrionik

Setelah terbentuk organ dan sistem organ, kemudian berkembang menjadi individu dewasa. Pada hewan tertentu sebelum mencapai dewasa mengalami proses **metamorfosis** (perubahan bentuk menuju dewasa).

Metamorfosis pada serangga dibagi menjadi:

- Metamorfosis sempurna (Holometabola)
Telur → larva → pupa → imago (dewasa)
Contoh: Kupu-kupu, lalat, lebah madu.
- Metamorfosis tidak sempurna (Hemimetabola)
Telur → nympa → imago
Contoh: Kecoa, belalang, jangkrik.
- Ametabola
Telur → imago (dewasa)
Pada katak perubahan telur yang dibuahi menjadi kecebong disebut: **prometamorfosis**.

A. SEL

1. Bagian-bagian Sel, Struktur, dan Fungsinya

Sel merupakan kesatuan unit terkecil yang bersifat fungsional bagi makhluk hidup. Pada umumnya sel (sel eukariotik) terdiri dari bagian-bagian berikut ini.

- Inti sel (*nucleus*):** tersusun dari asam nukleat, protein, dan lipid (pada membran nukleus).
- Membran sel:** tersusun dari lipid dan protein, berfungsi untuk pertahanan sel dari lingkungan eksternal, memberikan bentuk sel, mengatur transport lintas membran, dan sebagainya.
- Dinding sel:** tersusun dari lignin, pektin, dan selulose, berfungsi untuk pertahanan sel dari lingkungan eksotermal, memberikan bentuk dan menguatkan sel, dan sebagainya.
- Sitoplasma:** cairan yang terdapat di dalam sel. Berfungsi sebagai media untuk reaksi-reaksi kimiawi yang terdapat di dalam sel.
- Ribosom:** berfungsi sebagai tempat sintesis protein. Secara struktural, ribosom dapat terikat dengan retikulum endoplasma dan dapat bebas pada sitoplasma.
- Retikulum endoplasma:** organel sel yang berupa jaringan tubula (jalanan rongga-rongga) dan gelembung membran (sisterne), berfungsi sebagai tempat sintesis protein, sintesis hormon steroid, dan pengangkutan zat. Secara struktural, retikulum endoplasma dibagi menjadi dua jenis, yaitu RE kasar (terdapat ribosom pada permukaan sitoplasmiknya) dan halus (tidak terdapat ribosom).
- Lisosom:** merupakan kantung yang berisi enzim hidrolitik yang digunakan sel untuk mencerna makromolekul.
- Mitokondria:** organel sel yang berbentuk lonjong, dibungkus oleh membran luar dan dalam (sebagai matriks mitokondria), berfungsi sebagai tempat sintesis ATP (energi).
- Sentriol:** berfungsi saat pembelahan sel.
- Badan golgi:** berbentuk seperti kantung-kantung pipih bertumpuk-tumpuk, berfungsi untuk sekresi dan ekskresi sel.

2. Membran Sel

Model membran sel diusulkan oleh:

- Davson-Danielli (1935): menyerupai sandwich bilayer fosfolipid di antara dua lapisan protein.

- Model mosaik fluida (1970) (digunakan hingga saat ini)

Membran sel tersusun dari komponen protein, lipid bilayer, dan karbohidrat.

3. Perbedaan Sel Eukariotik (*Plantae*, *Animalia*, dan *Fungi*) dengan Prokariotik (*Bakteri*)

Eukariotik	Prokariotik
Memiliki membran inti sel.	Tidak memiliki membran inti. Materi genetik terkumpul pada zona yang menyerupai inti, yaitu: nukleoid.
Memiliki organela-organela seperti retikulum endoplasma, badan golgi, mitokondria.	Tidak memiliki.
Terdapat beberapa sel yang memiliki alat gerak berupa flagela.	Tidak memiliki flagela, tetapi alat gerak berupa silia (pada beberapa prokariotik).

4. Perbedaan Sel Hewan dan Tumbuhan

Hewan	Tumbuhan
Tidak memiliki dinding sel, hanya membran sel.	Memiliki dinding sel dan membran sel.
Tidak memiliki plastida.	Memiliki plastida.
Memiliki sentrosom.	Tidak memiliki.
Mempunyai lisosom.	Tidak memiliki.
Timbunan zat makanan berupa glikogen (gula otot).	Timbunan zat makanan berupa pati.

B. JARINGAN

1. Jaringan Hewan

Jaringan merupakan kesatuan sel yang memiliki bentuk dan fungsi yang sama. Jaringan pada manusia dan hewan dibagi menjadi 4 yaitu sebagai berikut.

a. Jaringan Epitel

Jaringan yang menutupi tubuh (baik dalam maupun luar) serta melindungi tubuh dari pengaruh buruk faktor eksternal. Jaringan epitel berfungsi sebagai pelindung (epitel pada kulit), sekresi (pada sel-sel epitelium rongga mulut), dan juga penyerapan (pada usus). Macam-macam jaringan epitel:

1) Berdasarkan Bentuk

- Epitelium pipih selapis (pada epitel alveolus) dan berlapis banyak (epitel rongga mulut).

- Epitelium kubus selapis (epitel pada indung telur) dan berlapis banyak (epitel pada kelenjar minyak dan keringat)
- Epitelium silinder selapis (epitel pada usus dan lambung), berlapis banyak (epitel pada langit-langit), silinder selapis bersilia (epitel pada saluran ekskresi, pernafasan, dan saluran reproduksi).

2) Berdasarkan Fungsi

Epitel pelindung, epitelium kelenjar, epitelium absorpsi, dan epitelium sensori.

b. Jaringan Otot

- **Otot polos:** inti satu di tengah, sel berujung runcing, bekerja di luar kesadaran, reaksinya lambat, tidak cepat lelah (pada saluran pencernaan, pembuluh darah, dan saluran pernafasan).
- **Otot lurik:** berinti banyak di bagian tepi sel, bekerja sesuai kehendak, reaksinya cepat, cepat lelah (terdapat pada rangka).
- **Otot jantung:** inti berada di tengah, reaksi lambat, tahan kelelahan, bekerja di luar kesadaran, serabut bercabang (terdapat di dinding jantung).

c. Jaringan Saraf

Jaringan ini terdiri dari sel-sel saraf (neuron). Neuron terdiri dari dendrit, badan sel, dan neurit.

d. Jaringan Ikat

Terdapat beberapa jaringan ikat di dalam tubuh, yaitu: jaringan ikat longgar, jaringan ikat padat, jaringan lemak, jaringan tulang rawan (tulang rawan hialin, fibrosis, dan elastis), jaringan tulang, dan jaringan darah serta limpa.

Organ dan Sistem Organ

Organ terbentuk dari beberapa jaringan yang saling bekerja sama untuk melakukan fungsi tertentu. Berdasarkan letaknya organ dibedakan menjadi organ dalam (jantung, ginjal, usus, hati, dan paru-paru) dan organ luar (mata, telinga, mulut, tangan, dan kaki). Organ-organ di dalam tubuh saling bekerja sama untuk melakukan fungsi pada sistem tertentu. Misalnya pada sistem pencernaan, terdiri dari organ-organ pencernaan, yaitu usus, ginjal, hati, dan lambung.

2. Jaringan Tumbuhan

Jaringan pada tumbuhan secara garis besar dibedakan menjadi dua yaitu jaringan meristem (sel-selnya masih aktif membelah) dan jaringan dewasa (permanen, jaringan ini tidak bersifat meristematik).

a. Jaringan meristem

- 1) **Promeristem:** jaringan meristem yang telah ada sejak tumbuhan pada fase embrional.
- 2) **Meristem primer:** jaringan meristem pada tumbuhan dewasa yang masih aktif membelah, terdapat pada titik tumbuh, menyebabkan tumbuhan bertambah tinggi.
- 3) **Meristem sekunder:** merupakan jaringan meristem yang berasal dari meristem primer, menyebabkan tumbuhan menjadi besar, terdapat pada kambium.

b. Jaringan dewasa (permanen)

- 1) **Jaringan epidermis** (jaringan pelindung): terdapat di seluruh permukaan tubuh, berfungsi sebagai pelindung.
- 2) **Jaringan parenkim** (jaringan dasar): terdapat hampir di semua bagian tubuh, berdasarkan fungsinya dibagi menjadi parenkim untuk fotosintesis, penyimpan udara, dan penyimpanan cadangan makanan.
- 3) **Jaringan penyokong:** terdapat dua macam jaringan penyokong yaitu sklerenkim (sel bersifat mati, keras, penebalan dari lignin) dan kolenkim (sel bersifat hidup, lentur, dinding sel mengalami penebalan selulosa).
- 4) **Jaringan pengangkut:** terdiri dari xilem (pengangkut mineral dari akar ke daun) dan floem (pengangkut fotosintat dari daun ke seluruh tubuh).

Organ Tumbuhan

Organ pada tumbuhan dikelompokkan menjadi dua yaitu organ nutritif dan organ reproduksi.

a. Organ nutritif

Merupakan organ-organ yang berkaitan dengan pembentukan makanan. Terdiri dari akar, batang, dan daun.

1) Akar

Berfungsi:

- menyerap air dan unsur hara,
- menyimpan cadangan makanan,
- memperkokoh tumbuhan,
- sebagai alat perkembangbiakan vegetatif.

Struktur akar tersusun atas epidermis, korteks, dan silinder pusat (stele). Tipe perakaran: serabut (Monokotil & Pteridofita), tunggang (Dikotil dan Gimnospermae).

2) Batang

Struktur batang terdiri dari epidermis, korteks, dan silinder pusat. Tipe berkas pengangkut

pada batang yaitu kolateral terbuka (pada Dikotil dan Gimnospermae) dan kolateral tertutup (Monokotil). Jaringan penyusun batang yaitu sebagai berikut.

- **Jaringan primer**

Monokotil: epidermis, berkas pembuluh, empulur, dan sklerenkim.

Dikotil: epidermis, korteks, xilem, floem, dan kambium pembuluh.

- **Jaringan sekunder**

Terdapat pada tumbuhan dikotil yaitu floem sekunder, xilem sekunder, dan kambium gabus.

3) Daun

Berfungsi sebagai:

- tempat fotosintesis,
- alat reproduksi vegetatif,
- tempat penyimpan bahan makanan,
- alat untuk transpirasi.

Struktur dalam daun terdiri dari epidermis atas dan bawah, mesofil (pada Dikotil terdiri dari jaringan palisade dan spons), berkas pengangkut (xilem dan floem), dan stomata.

b. Organ reproduktif

Berkaitan dengan proses reproduksi, yaitu bunga sebagai alat pembentuk sel kelamin (bunga lengkap dan tak lengkap), buah dan biji.

BAB 10

METABOLISME

Merupakan semua reaksi kimiawi yang terarah yang terjadi di dalam tubuh organisme dan dikatalisis oleh enzim (pemercepat reaksi). Metabolisme terdiri dari:

- Anabolisme:** reaksi pembentukan molekul-molekul kompleks dari molekul-molekul yang lebih sederhana. Reaksi ini membutuhkan energi.
- Katabolisme:** reaksi pemecahan molekul-molekul kompleks menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana. Reaksi pemecahan ini menghasilkan energi.

A. ENZIM

Enzim merupakan protein yang mempunyai sisi katalitik sehingga mampu mengubah substrat menjadi produk tertentu. Sifat-sifat enzim:

1. Merupakan protein.
2. Memiliki sisi aktif/katalitik sebagai tempat substrat berkombinasi dengan enzim.
3. Mempercepat reaksi kimia dengan menurunkan energi aktivasi (energi untuk mengawali suatu reaksi).
4. Sebagai katalisator hayati yang mampu mempercepat suatu reaksi tanpa ikut bereaksi.
5. Tidak mengubah kesetimbangan suatu reaksi.
6. Enzim memiliki substrat yang spesifik, satu enzim, satu substrat.
7. Kerja enzim dapat dihambat oleh suatu substrat 'asing' yang disebut inhibitor dan dapat diaktivasi dengan adanya aktivator.
8. Bekerja pada suhu kisaran tertentu.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim.

1. Konsentrasi enzim. Semakin tinggi konsentrasi enzim, makin tinggi kerja enzim.
2. Konsentrasi substrat. Semakin rendah konsentrasi substrat, makin tinggi kerja enzim.
3. Derajat keasaman (pH).
4. Temperatur.
5. Keberadaan inhibitor. Semakin tinggi keberadaan inhibitor, makin rendah kerja enzim.

B. RESPIRASI AEROB DAN ANAEROB

Respirasi merupakan proses oksidasi suatu senyawa organik secara terarah yang menghasilkan energi untuk pemeliharaan metabolisme di dalam tubuh makhluk hidup. Respirasi di atas bukan merupakan respirasi tingkat organisme, melainkan tingkat selular.

Respirasi dibagi menjadi 2, yaitu sebagai berikut.

- a. **Respirasi aerob:** respirasi yang membutuhkan oksigen bebas. Oksigen tersebut berfungsi sebagai penerima (akseptor) elektron/hidrogen terakhir.
- b. **Respirasi anaerob:** respirasi yang tidak membutuhkan oksigen bebas. Sehingga penerima elektron/hidrogen terakhir merupakan senyawa-senyawa tertentu selain oksigen seperti sulfat (SO_4^{2-}), karbonat (CO_3^{2-}), piruvat, asetaldehid.

Respirasi sel secara aerob berlangsung melalui 4 tahap:

1. Glikolisis

- Mengalami reaksi pemecahan glukosa (senyawa berkarbon fruktosa 1, 6 fosfat) menjadi 2 molekul asam piruvat (senyawa berkarbon 3).

Glukosa dirubah menjadi fruktosa 1, 6 fosfat menggunakan 2 ATP.

- Terjadi di dalam sitoplasma.
- Berlangsung secara anaerob.
- Menghasilkan energi sebesar 2 ATP dan 2 NADH untuk setiap molekul glukosa (1 NADH = 3 ATP).

2. Dekarboksilasi Oksidatif Asam Piruvat

- Mengubah Asam Piruvat (senyawa berkarbon 3) menjadi Asetil-KoA (senyawa berkarbon 2).
- Berlangsung pada matriks mitokondria.
- Menghasilkan 1 NADH, CO_2 , dan 1 Asetil-KoA untuk setiap pengubahan molekul Asam Piruvat (Total dihasilkan 2 Asetil KoA, karena Asam Piruvat yang diubah sebanyak 2 mol).

3. Siklus Krebs

- Asetil-KoA (senyawa berkarbon 2) yang dihasilkan dari dekarboksilasi oksidatif diubah menjadi CO_2 (senyawa berkarbon 1).
- Berlangsung pada matriks mitokondria.
- Setiap molekul Asetil-KoA dihasilkan 1 ATP, 1 FADH, 3 NADH (1 FADH = 2 ATP), dan 2 CO_2 .

4. Transfer Elektron

- Melalui rantai respirasi, elektron/hidrogen dari NADH dan FADH yang dihasilkan dari glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, dan siklus krebs, dilepaskan dan diterima oleh O_2 sebagai penerima elektron terakhir, sehingga terbentuk H_2O dan energi (ATP) secara bertahap.
- NADH dan FADH merupakan senyawa pereduksi (reduktor) yang menghasilkan elektron/ ion hidrogen.
- Reaksi ini terjadi pada membran dalam (matriks) mitokondria.
- Satu molekul NADH akan menghasilkan 3 ATP, sedangkan satu molekul FADH akan menghasilkan 2 ATP

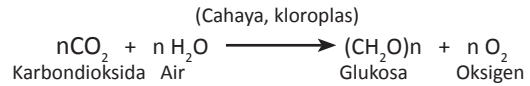
Total energi yang dihasilkan untuk setiap pemecahan (oksidasi) satu molekul glukosa pada sel prokariotik yaitu:

1. Glikolisis : 8 ATP
 2. Dekarboksilasi oksidatif: 6 ATP (2 NADH)
 3. Siklus krebs: 24 ATP
- Jumlah: 38 ATP

Pada sel eukariotik dihasilkan 36 ATP karena transport 2 NADH ke dalam matriks mitokondria membutuhkan energi sebesar 2 ATP.

C. FOTOSINTESIS

Merupakan reaksi sintesis bahan organik dari bahan anorganik dengan bantuan cahaya dan kloroplas.



Fotosintesis bukanlah merupakan tahap tunggal, melainkan dua tahap yang masing-masing memiliki banyak langkah.

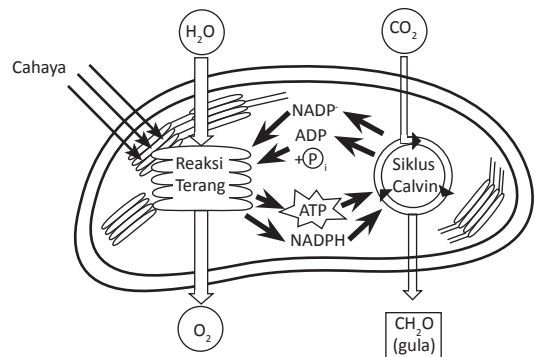
Tahap fotosintesis yaitu sebagai berikut.

1. Reaksi Terang

- Terjadi di tilakoid dalam kloroplas.
- Terjadi proses fotolisis air, sehingga reaksi terang menghasilkan O_2 .
- Reaksi ini membutuhkan cahaya untuk menghasilkan energi berupa ATP (melalui proses fosforilasi pada ADP) dan NADPH (hasil reduksi dari NADP^+).

2. Reaksi Gelap (Siklus Calvin)

- Terjadi di stroma dalam kloroplas.
- Reaksi diawali dengan pengikatan (fiksasi) CO_2 ke dalam senyawa organik pada kloroplas kemudian CO_2 direduksi menjadi karbohidrat. Proses reduksi dilakukan oleh NADPH yang memperoleh elektron hasil reaksi terang.



A. RANGKA

Fungsi rangka adalah sebagai berikut.

- Penyokong dan pemberi bentuk tubuh.
- Sebagai tempat perlekatan otot.
- Pelindung organ-organ dalam yang lunak.
- Tempat pembentukan sel darah merah dan sel darah putih.
- Tempat penimbunan mineral dalam tubuh.

1. Bagian Rangka

Rangka manusia terdiri dari:

- a. Bagian **aksial** berfungsi untuk:
 - memberikan sumbu topangan untuk tubuh tegak (bipedal),
 - mengelilingi dan melindungi otak, sumsum tulang belakang, paru-paru dan jantung. Misalnya pada tulang tengkorak dan tulang bagian badan (gelang pundak, tulang rusuk, tulang dada, tulang panggul, tulang belakang).
- b. Bagian **apendikular** berfungsi untuk menopang lengan dan kaki. Misalnya pada tulang **anggota gerak** (tulang tangan dan kaki).

2. Persendian pada Rangka Manusia

Persendian pada rangka dibagi menjadi 3, yaitu:

- a. **Sinartrosis**
Sendi yang tidak bisa digerakkan. Dibagi menjadi:
 - 1) **Sinkondrosis**: dihubungkan oleh tulang rawan, misalnya sendi antara tulang rusuk dengan tulang dada
 - 2) **Sinfibrosis**: dihubungkan oleh serabut, misalnya sendi di antara tulang-tulang tengkorak
- b. **Diartrrosis**
Sendi yang memungkinkan pergerakan. Diartrosis dibagi menjadi:
 - 1) **Sendi lesung (peluru)**: sendi pada tulang lengan atas yang berhubungan dengan pundak; tulang paha berhubungan dengan tulang pelvis. Sendi ini memungkinkan terjadinya pergerakan untuk memutar lengan dan kaki sehingga dapat digerakkan dalam beberapa sumbu.
 - 2) **Sendi engsel**: antara tulang lengan atas dengan tulang hasta. Sendi ini membatasi pergerakan hanya pada sumbu tunggal (satu arah).

- 3) **Sendi putar**: memungkinkan untuk memutar lengan depan pada siku (satu gerakan berputar).

- 4) **Sendi pelana**: persendian pada ibu jari.

c. Amfiartrosis

Sendi yang memungkinkan untuk sedikit gerak. Misalnya pada sendi di antara tulang rusuk dengan tulang punggung.

B. TULANG

Tulang penyusun rangka terdiri dari:

1. Tulang rawan (kartilago)

Tulang rawan bersifat elastis, matriks tulang berupa kolagen, serta disusun dari sel-sel kondroblas. Macam-macamnya: tulang rawan hialin, elastis, dan fibrosa.

2. Tulang keras (osteon)

Tulang keras bersifat keras/kaku, matriks tulang mengandung kapur, serta dibentuk dari sel-sel osteoblas.

Berdasarkan bentuknya, tulang pada manusia dibedakan menjadi:

1. **Tulang pipih** (seperti tulang rusuk dan tengkorak),
2. **Tulang panjang** (seperti tulang paha dan tulang kering), dan
3. **Tulang pendek** (tulang pada jari-jari kaki dan tangan).
4. **Tulang tak beraturan** (seperti pada wajah dan tulang belakang)

Kelainan pada Tulang

- **Skoliosis**: tulang punggung berbentuk seperti huruf S (dapat dikarenakan posisi duduk yang salah).
- **Lordosis**: posisi tulang panggul membelok ke depan
- **Kifosis**: tulang punggung membungkuk.
- **Fraktura**: tulang mengalami keretakan.
- **Nekrosis**: kerusakan pada selaput tulang, sehingga suplai makanan terhenti.
- **Arthritis sika**: pengeringan minyak sendi, sehingga pergerakan sendi terhambat.
- **Arthritis eksudatif**: peradangan pada bagian sendi (dapat disebabkan oleh infeksi bakteri).

C. OTOT

Otot dapat mengalami kontraksi sehingga dapat menimbulkan suatu gerakan tubuh. Pergerakan otot dapat bekerja secara:

1. Sinergis (searah)

Macam gerakan otot sinergis yaitu gerak pronasi oleh otot-otot pronator di lengan bagian bawah

2. Antagonis (berlawanan)

Macam gerak antagonis, yaitu:

- *abduktor-adduktor*: menjauhkan dan mendekatkan lengan dari tubuh,
- *fleksor-ekstensor*: gerakan meluruskan dan membengkokkan lengan,
- *pronator-supinator*: gerakan menelungkup dan mengadahkan telapak tangan,
- *depresor-elevator*: menurunkan dan mengangkat lengan ke atas.

Mekanisme Gerak Otot

Sebuah otot terdiri dari berkas serat otot (sel-sel

otot lurik dan berinti banyak) yang disebut **myofibril**. Masing-masing myofibril tersebut terdiri dari **miosin** (filamen tebal) dan **aktin** (filamen tipis) yang diatur dalam unit kontraktile yang disebut sarkomer. Pada saat otot melakukan relaksasi, panjang bagian sarkomer tersebut lebih panjang daripada saat terjadi kontraksi otot. Saat otot berkontraksi, sarkomer tampak memendek karena filamen aktin dan myosin saling meluncur di atas satu sama lain.

Mekanisme kinerja otot dipengaruhi datangnya rangsang untuk bergerak. Rangsangan dari luar oleh tubuh akan diubah menjadi sinyal kimiawi dalam bentuk asetilkolin. Asetilkolin yang terlepas, akan membebaskan ion kalsium (Ca^{2+}) yang berada di antara sel-sel otot, sehingga pada akhirnya menyebabkan filamen aktin meluncur mendekati filamen myosin (membentuk aktomiosin) yang mengakibatkan sarkomer memendek dan terjadinya kontraksi otot untuk bergerak.

BAB 12

SISTEM Sirkulasi dan Digesti

A. SISTEM Sirkulasi

Sistem sirkulasi pada dasarnya merupakan pengaturan transport darah di dalam tubuh. Sistem sirkulasi terbagi menjadi 2, yaitu:

1. Sistem sirkulasi terbuka

Darah menggenangi organ internal secara langsung, tanpa melalui pembuluh darah, sehingga darah juga bercampur dengan cairan interstitial.

2. Sistem sirkulasi tertutup (sistem kardiovaskuler)

Darah ditransport melalui pembuluh darah dan terpisahkan dengan cairan interstitial. Contohnya pada manusia dan vertebrata

Komponen sistem kardiovaskuler, yaitu jantung, pembuluh darah, dan darah.

a. Jantung

Jantung terdapat di dalam rongga dada, memiliki bilik yang menerima darah yang kembali ke jantung dan serambi (sinister) yang memompakan darah keluar dari jantung.

b. Pembuluh darah

Pembuluh darah terdiri dari:

- arteri (membawa darah dari jantung menuju organ-organ di seluruh tubuh),

- kapiler (merupakan cabang arteri, pembuluh mikroskopis dengan dinding tipis dan berpori), dan
- vena (mengembalikan darah ke jantung).

c. Darah

Merupakan cairan yang beredar di dalam pembuluh darah yang terdiri dari:

- 1) sel-sel darah (terdiri dari eritrosit untuk mengangkut oksigen dan CO_2 ; sel darah putih leukosit untuk pertahanan tubuh, dan trombosit sebagai pembeku darah),
- 2) plasma darah, serum darah, dan faktor-faktor lain.

Darah berfungsi untuk mengangkut nutrisi, senyawa-senyawa sisa metabolisme, oksigen, hormon, mengatur keseimbangan pH dalam tubuh, serta sebagai pertahanan tubuh.

Skema Sirkulasi Darah pada Manusia

Darah dari seluruh tubuh → vena cava superior dan inferior → serambi kanan → bilik kanan → arteri pulmonalis → paru-paru → darah bersih dari paru-paru → vena pulmonalis → serambi kiri → bilik kiri → aorta → seluruh tubuh → darah dari seluruh tubuh

Sistem Sirkulasi pada Hewan

1. Pada serangga dan artropoda: sistem tertutup.
2. Ikan: sistem tertutup dan merupakan sirkulasi tunggal, jantung terdiri dari 1 bilik dan 1 serambi.
3. Reptil dan burung: sistem peredaran darah ganda (darah dipompa dua kali di kapiler pada paru-paru atau kulit setelah kehilangan tekanannya untuk memastikan aliran darah yang kuat ke otak, otot, dan organ-organ lain), jantung memiliki 2 serambi dan 2 bilik.
4. Katak: peredaran darah ganda, jantung memiliki 2 serambi dan 1 bilik.

B. SISTEM PENCERNAAN

Makhluk hidup membutuhkan makanan untuk menjaga keseimbangan dan berlangsungnya proses metabolisme di dalam tubuh. Komponen-komponen zat makanan yang dibutuhkan meliputi:

1. Karbohidrat

Karbohidrat merupakan kompleks senyawa yang tersusun dari molekul gula, terdiri dari unsur C, H, dan O. Karbohidrat dibagi menjadi:

- polisakarida (tersusun dari 2 molekul gula atau lebih, misalnya: selulosa, pektin, lignin),
- disakarida (tersusun dari 2 molekul gula, misalnya sukrosa, laktosa, dan maltosa), dan
- monosakarida (tersusun dari 1 molekul gula, misalnya glukosa, fruktosa, galaktosa).

Karbohidrat dicerna sejak memasuki mulut oleh **enzim amilase pada ludah** (saliva), sehingga menjadi kompleks senyawa gula yang lebih sederhana. Kemudian senyawa-senyawa tersebut dicerna lagi oleh **enzim amilase pankreas** menjadi karbohidrat sederhana seperti maltosa. Kemudian **enzim maltase** mencerna maltosa menjadi glukosa. Hasil pemecahan karbohidrat diserap di usus halus. Kadar glukosa dalam darah harus normal, apabila berlebihan dapat menyebabkan *hiperglikemia* (pada penderita diabetes melitus), sedangkan bila kurang disebut *hipoglikemia*.

2. Protein

- Protein merupakan makromolekul yang tersusun dari asam amino-asam amino yang terhubung dengan ikatan peptida.
- Merupakan molekul yang mengandung unsur C, H, O, N dan terkadang S, P.

Protein dicerna sejak di lambung oleh **enzim pepsin**, sehingga protein dapat dipecah menjadi bentuk yang lebih sederhana menjadi proteosa dan pepton. Pepton dan albuminosa hasil pemecahan protein di lambung,

nantinya akan dicerna lagi setelah mencapai usus oleh **enzim erepsin** menjadi asam amino. Selain itu juga terdapat enzim-enzim dalam usus dua belas jari yang mencerna protein seperti **tripsin**, **kimotripsin**, **karboksipeptidase** (memecah asam amino satu persatu), dan **aminopeptidase**.

Asam amino dibagi menjadi dua.

- a. **Asam amino esensial**, yaitu asam amino yang tidak dapat dibentuk oleh tubuh dan didapatkan dengan cara mengonsumsi bahan makanan.
- b. **Asam amino nonesensial**, yaitu asam amino yang dapat dibentuk oleh tubuh.

Setiap 1 gram pencernaan protein, dihasilkan energi sebesar 4,1 kalori.

Fungsi protein adalah:

- a. sebagai zat pembangun tubuh,
- b. pembentuk hormon,
- c. sumber energi.

3. Lemak

- Lemak merupakan makromolekul yang tersusun dari asam lemak dan gliserol, serta merupakan zat makanan yang menghasilkan kalori paling besar yaitu 9,3 gram untuk setiap kalorinya.
- Lemak dicerna dalam usus dua belas jari oleh enzim lipase atau steapsin sehingga lemak mengalami emulsi kemudian pecah menjadi asam lemak dan gliserol.

Fungsi lemak adalah:

- a. sebagai sumber energi,
- b. pelarut vitamin A, D, E, dan K,
- c. bahan untuk pembentukan hormon-hormon yang mengandung gugus lemak.

4. Vitamin

- Merupakan senyawa organik yang berfungsi sebagai koenzim (kofaktor organik) untuk kinerja enzim-enzim di dalam tubuh.
- Berdasarkan sifat kelarutannya, vitamin dibagi menjadi vitamin yang larut air (B dan C) dan vitamin larut lemak (A, D, E, dan K).

5. Air

Air merupakan pelarut universal yang berfungsi sebagai medium reaksi-reaksi yang terjadi di dalam tubuh. Selain itu air juga berfungsi untuk memelihara keseimbangan tubuh, sebagai bahan pengangkut senyawa-senyawa metabolit, dan pelarut vitamin B dan C. Tubuh manusia sebagian besar terdiri dari komponen air, sehingga membutuhkan air dalam jumlah besar.

6. Mineral

Berfungsi sebagai zat pembangun dan pengatur

(misalnya mekanisme penghantaran rangsang oleh ion Ca^{2+}). Beberapa unsur mineral turut berfungsi sebagai kofaktor kinerja enzim-enzim metabolisme tubuh.

Pencernaan makanan di dalam tubuh manusia melalui 4 tahap yaitu:

- 1) **penelanan** (*ingestion*), sebelumnya melalui proses pertama pencernaan yaitu mengunyah;
- 2) **pencernaan** (*digestion*), yaitu perombakan makanan menjadi senyawa yang lebih sederhana;
- 3) **penyerapan** (*absorption*);
- 4) **pembuangan** (*eliminasi*).

Sistem pencernaan pada manusia terdiri dari:

1. *Saluran pencernaan* (organ pencernaan yang dilewati oleh bahan makanan), yaitu mulut, kerongkongan, lambung, usus halus, dan usus besar.
2. *Kelenjar pencernaan* (organ pencernaan yang berfungsi menghasilkan getah/enzim pencernaan), yaitu mulut, lambung, usus halus, hati, dan pankreas.

Berdasarkan prosesnya, pencernaan dibagi menjadi:

1. *Pencernaan mekanis*, yaitu pencernaan yang menyebabkan perubahan bentuk dan ukuran makanan, contohnya pencernaan oleh gigi.
2. *Pencernaan kimiawi*, perubahan zat makanan dari senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan enzim (senyawa kimia).

1. Mulut

a. Gigi

Terbentuk dari tulang gigi (*dentin*). Strukturnya terdiri dari mahkota gigi, leher, dan akar gigi.

Ada 3 macam gigi pada manusia, yaitu:

- gigi seri (untuk memotong makanan),
- gigi taring (untuk mengoyak makanan), dan
- gigi geraham (untuk mengunyah makanan).

Pada anak-anak disebut gigi susu (20 buah) sedangkan pada orang dewasa gigi tetap (38 buah).

b. Lidah

Fungsi lidah:

- a. sebagai pengecap makanan,
- b. mengatur letak makanan dalam mulut sehingga lebih mudah dikunyah,
- c. membantu menelan dan mendorong makanan ke dalam kerongkongan.

c. Kelenjar Ludah

Menghasilkan cairan lendir yang berfungsi:

- memperlincin makanan sehingga makanan lebih mudah ditelan, dan
- melapisi makanan supaya tidak melukai rongga pencernaan.

Kelenjar ludah juga berfungsi menghasilkan enzim ptialin atau enzim amylase.

2. Kerongkongan

- Faring adalah persimpangan antara kerongkongan dengan tenggorokan. Pada pangkal faring terdapat katup yang memisahkan rongga kerongkongan dengan rongga tenggorokan yang disebut epiglotis.
- Makanan yang masuk kerongkongan akan didorong ke bawah oleh gerak mengkerut dan mengendurnya otot leongitudinal pada kerongkongan yang disebut *gerak peristaltik*.

3. Lambung

Terletak pada rongga perut sebelah kiri atas. Tempat berlangsungnya pencernaan protein oleh enzim pepsin dan renin yang dihasilkan oleh lambung. Selain itu di dalam rongga lambung juga dihasilkan HCl/asam lambung. Berikut enzim beserta fungsinya.

- **HCL:** mengaktifkan pepsinogen menjadi pepsin, mematikan bakteri yang merugikan.
- **Pepsin:** mengubah protein menjadi pepton.
- **Renin:** mengubah kaseinogen menjadi kasein.
- **Lipase:** mengubah lemak menjadi asam lemak dan gliserol.

4. Usus Halus

Terdiri dari tiga bagian, yaitu sebagai berikut.

a. Duodenum (usus dua belas jari)

Merupakan muara dari saluran getah pankreas yang mengandung enzim tripsin, amylase, dan lipase. Juga sebagai muara saluran empedu.

b. Jejunum (usus tengah)

Merupakan tempat pencernaan terakhir sebelum sari makanan diserap.

c. Ileum (usus penyerapan)

Permukaan rongga usus berupa jonjot-jonjot usus yang berfungsi memperluas permukaan penyerapan sari makanan. Banyak terdapat pembuluh darah yang siap mengedarkan sari makanan ke seluruh tubuh.

5. Usus Besar

Merupakan kelanjutan dari usus halus. Di dalam rongga usus besar air pada makanan diserap sehingga feces memadat. Pada usus besar terdapat bakteri coli (*Eschericia coli*) yang membantu proses pembusukkan

sisa pencernaan makanan. Selain itu, *E. coli* juga berperan dalam pembentukan vitamin K.

Usus besar terdiri dari bagian yang menaik (*ascending colon*), bagian yang mendatar (*transverse colon*), dan bagian yang menurun (*descending colon*). Usus besar mempunyai tambahan yang disebut usus buntu (*appendix*). Usus besar berfungsi untuk mengatur kadar air pada sisa makanan. Sisa makanan yang tidak terpakai oleh tubuh akan dikeluarkan melalui anus.

Penyakit dan Kelainan pada Sistem Pencernaan

Beberapa kelainan dan penyakit pada sistem pencernaan adalah:

1. Parotitis (penyakit gondong)
Penyakit yang disebabkan virus, menyerang kelenjar air ludah di bagian bawah telinga. Akibatnya, kelenjar ludah menjadi bengkak.
2. Xerostomia
Mulut kering karena rendahnya produksi air liur.
3. Tukak lambung
Luka pada dinding lambung bagian dalam.
4. Apendiksitis/usus buntu
5. Diare/feses encer
6. Konstipasi/sembelit.

Sistem Pencernaan Mamalia

Pada umumnya, sistem pencernaan pada mamalia sama, perbedaannya terdapat pada struktur gigi dan lambung.

1. Dentisi dan Jenis Makanan
 - a. **Karnivora:** pada umumnya memiliki gigi seri dan gigi taring runcing untuk membunuh

mangsanya serta merobek-robek dagingnya. Gigi geraham depan dan geraham bergerigi digunakan untuk menggerus dan melumatkan makanan.

- b. **Herbivora:** memiliki geligi dengan permukaan yang luas dan bergelombang untuk melumatkan tumbuh-tumbuhan. Gigi seri dan gigi taring umumnya termodifikasi untuk menggigit dan memotong tumbuhan.
- c. **Omnivora:** dentisi omnivora relatif tidak terspesialisasi. Susunan geligi permanen berjumlah 32. Gigi seri digunakan untuk memotong, gigi taring tajam untuk merobek, 2 geraham depan untuk menggerus dan 3 geraham untuk melumatkan.

2. Lambung Ruminansia

Saluran pencernaan pada herbivora sangat panjang, dan memiliki ruangan fermentasi khusus di mana bakteri dan protista simbiotik hidup. Mikroorganisme tersebut tidak hanya mencerna selulosa, tetapi juga gula. Pada bagian lambung ruminansia terdapat 4 ruangan. Setelah makanan dicerna di mulut → **rumen** → **retikulum** (tempat prokariota dan protista simbiotik hidup) yang menghasilkan hasil samping metabolisme yaitu asam lemak → makanan dimuntahkan kembali ke mulut, sapi mengunyah kembali makanan tersebut → ditelan kembali, lalu bergerak ke → **omasum** → **abomasum**.

A. RESPIRASI

Respirasi merupakan proses pertukaran gas yang meliputi pengambilan molekul oksigen (O_2) dari lingkungan dan pembuangan karbon dioksida (CO_2) yang bertujuan untuk menghasilkan energi. Sistem respirasi pada hewan berbeda-beda. Ikan berespirasi dengan insang, serangga dengan trakea, reptil dengan paru-paru, burung dengan paru-paru dibantu dengan pundi-pundi hawa.

1. Sistem Respirasi pada Mamalia

Sistem respirasi diawali ketika udara memasuki lubang hidung, kemudian disaring oleh rambut, dihangatkan, dilembapkan → udara menuju ke faring → trakhea → bronkus → bronkiolus → alveoli.

Pengangkutan karbon dioksida oleh darah dilakukan dengan tiga cara yaitu:

- karbon dioksida terikat haemoglobin membentuk karbominohaemoglobin,
- karbon dioksida larut di dalam plasma membentuk asam karbonat dengan enzim karbonat anhidrase,
- karbon dioksida terikat dalam gugus ion bikarbonat (HCO_3^-) melalui proses pertukaran klorida.

2. Sistem Respirasi pada Serangga (Sistem Trakhea)

Sistem trakhea tersusun dari pipa udara yang bercabang di seluruh tubuh, merupakan bentuk variasi permukaan respirasi internal yang melipat-lipat. Pipa yang paling besar disebut trakhea. Setelah udara memasuki trakhea, kemudian udara dialirkan menuju cabang-cabang pipa yang halus menjulur dan memanjang ke permukaan hampir setiap sel. Udara mengalami difusi sepanjang epitelium lembab yang melapisi ujung pangkal sistem trakhea.

3. Sistem Respirasi pada Burung

- Sistem respirasi burung menggunakan paru-paru sebagai alat pernafasan.
- Pertukaran udara pada burung terjadi di bagian parabronkus yang banyak mengandung pembuluh darah.
- Paru-paru pada burung memiliki keistimewaan karena mengalami perluasan menjadi **saccus pneumaticus** (pundi-pundi hawa).

- Pundi-pundi hawa tersebut berfungsi untuk membantu pernafasan burung saat terbang, memperbesar ruang siring (alat suara) sehingga menghasilkan suara lebih keras, melindungi tubuh dari proses kehilangan panas, dan menyelubungi organ dalam dari udara dingin.
- Pada saat terbang, konsumsi O_2 dapat meningkat 20 kali. Ekspirasi (pengeluaran gas) terjadi saat sayap diturunkan, sedangkan inspirasi terjadi saat gerakan sayap dinaikkan. Proses inspirasi dan ekspirasi dilakukan oleh pundi-pundi hawa yang berada di antara tulang korakoid dan di bagian ketiak.

Skema respirasi pada burung

Glottis → trakhea → bercabang membentuk bronkus primaries → mesobronkus → berhubungan dengan *saccus pneumaticus* → mesobronkus bercabang membentuk bronkus sekundarius *caudodorsal* dan *caudomedial* → bronkus sekundarius *caudomedial* bercabang menjadi bronkiolus (banyak pembuluh darah).

B. SISTEM EKSRESI

Sistem ekskresi merupakan sistem yang mengatur pembuangan zat-zat sisa metabolisme yang sudah tidak diperlukan bagi tubuh.

1. Sistem Ekskresi pada Manusia

Sistem ekskresi pada manusia terdiri dari organ-organ ekskresi yaitu ginjal, hati, dan paru-paru serta jaringan ekskresi yaitu kulit.

a. Ginjal

- Sistem ekskresi pada ginjal menghasilkan urin melalui dua proses utama yaitu: filtrasi cairan tubuh dan penyulingan larutan cair yang dihasilkan dari proses filtrasi tersebut.
- Ginjal terdiri dari 3 bagian utama yaitu: **korteks** (terdapat badan malpighi yang terdiri dari simpai bowman dan glomerulus), **medula** (mengandung tubulus kontortus dan tubulus kolektivus), dan rongga ginjal atau **pelvis renalis** (tempat penampung urin).

Mekanisme sistem ekskresi pada ginjal yaitu:

- filtrasi darah.** Terjadi di glomerulus, menghasilkan urin primer. *Urin primer*: urin yang mengandung asam amino, glukosa, ureum, keratin dan kreatinin.

- **reabsorpsi urin primer**, yaitu penyerapan kembali zat-zat yang masih berguna bagi tubuh. Terjadi di tubulus kolektivus proksimalis, menghasilkan urin sekunder). *Urin sekunder*: mengandung garam, ureum, keratin, dan kreatinin
- **augmentasi**, yaitu proses penambahan zat-zat buangan ke dalam urin. Terjadi di tubulus kolektivus distalis, proses ini menghasilkan urin sesungguhnya yang selanjutnya urin ditampung di tubulus kolektivus.

Urin yang terbentuk dialirkan melalui ureter ke dalam kantung kemih (vesica urinaria). Urin dikeluarkan dari tubuh melalui saluran uretra.

b. Hati

Hati merupakan kelenjar terbesar yang terdapat di dalam tubuh, berfungsi menghasilkan empedu yang dapat menawarkan racun-racun di dalam tubuh.

c. Paru-paru

Sebagai organ ekskresi yang mengatur pembuangan gas karbon dioksida dan air sebagai hasil metabolisme tubuh.

d. Kulit

Bagian kulit yang berperan dalam ekskresi yaitu kelenjar keringat yang mengeluarkan keringat. Kelenjar keringat tersebut terdapat pada lapisan dermis (lapisan di bawah epidermis).

2. Sistem Ekskresi pada Invertebrata

a. Ekskresi pada Cacing Pipih

- Memiliki sistem ekskresi tubuler yang disebut sebagai **protonefridia**.
- Organnya disebut **protonefridium**, merupakan jaringan kerja tubula tertutup yang tidak memiliki pembukaan internal, bercabang di seluruh tubuh dan cabang paling kecil diselubungi oleh **sel-sel api bersilia**.

- Pergerakan silia sel-sel api tersebut dapat menggerakkan air sepanjang saluran ekskresi, sehingga zat-zat sisa dapat dikeluarkan melewati **nefridiofor**.

b. Ekskresi pada Belalang

- Organ ekskresi pada serangga dan artropoda disebut **tubula Malpighi** (berfungsi seperti ginjal pada vertebrata). Organ-organ tersebut berfungsi mengeluarkan limbah bernitrogen dari haemofilia (cairan sirkulasi pada serangga), dan berperan dalam osmoregulasi.
- Selain tubula Malpighi, sistem ekskresi pada serangga juga memiliki **trakhea** yang berfungsi mengatur pembuangan karbondioksida hasil proses metabolisme.

c. Ekskresi pada Annelida dan Mollusca

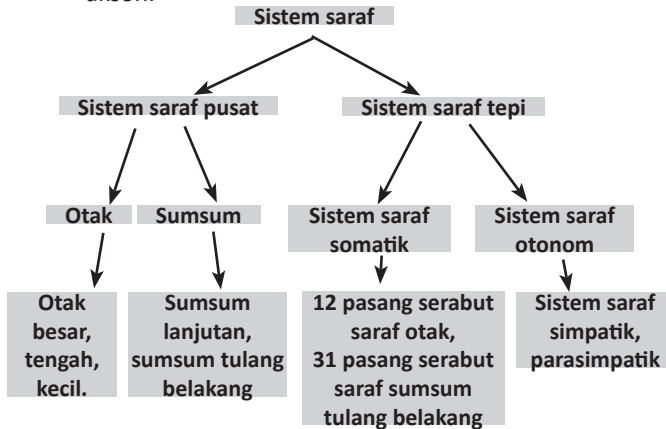
Annelida dan Mollusca memiliki organ ekskresi yang disebut metanefridia. Masing-masing segmen cacing memiliki metanefridia. Metanefridia berfungsi untuk pengaturan ekskresi dan osmoregulasi. Metanefridia bertindak sebagai penyaring yang mengeluarkan sisa metabolisme dan mengembalikan zat-zat yang masih dibutuhkan ke dalam tubuh.

Proses Perombakan sel darah Merah di dalam Tubuh

Sel darah merah mengandung haemoglobin yang terdiri dari protein globin, Fe, dan hemin. Komponen protein globin pada sel darah merah yang akan dirombak dimanfaatkan kembali untuk sintesa protein dan pembentukan haemoglobin baru. Sedangkan Fe akan diambil kembali dan disimpan dalam hati. Komponen hemin nantinya akan dirombak menjadi bilirubin dan biliverdin (pada empedu) yang nantinya akan dimanfaatkan dalam sistem pencernaan, dan akhirnya akan dikeluarkan (dalam bentuk feses (sterobilin), urin urobilin) dan tetap disimpan di hati karena adanya siklus interhepatik.

A. SISTEM SARAF

Sistem saraf tersusun dari sel-sel saraf (neuron). Setiap neuron terdiri dari badan sel neurit saraf, dendrite, akson.



1. Saraf Pusat

Mekanisme Penghantaran Impuls

- Melalui perubahan muatan listrik pada sel saraf
 - Potensial aksi dibangkitkan ketika ion natrium mengalir ke dalam akson melintasi membran pada satu lokasi.
 - Depolarisasi potensial aksi pertama telah menyebar ke wilayah yang bersebelahan dengan membran tersebut, mendepolarisasi wilayah tersebut dan memulai potensial aksi kedua. Pada lokasi potensial aksi yang pertama, membran mengalami repolarisasi ketika K^+ mengalir ke luar akson.
 - Potensial aksi ketiga merambat secara berurutan, saat repolarisasi berlangsung. Melalui mekanisme ini, aliran ion lokal menembus membran plasma dan menghasilkan impuls saraf yang merambat di sepanjang akson.
- Lewat sinapsis
Sinapsis merupakan persambungan yang mengontrol komunikasi antara satu neuron dengan neuron yang lain.

Saraf Kranial

Terdapat 12 macam saraf kranial yang terdiri dari:

- **neuron-neuron sensorik** (saraf olfaktorik, optik, dan auditori),
- **neuron-neuron motorik** (okulomotorik, troklear, pathetik, abduksen, spinalis dan hipoglossal), dan,
- **saraf-saraf gabungan neuron motorik dan sensorik** yaitu (saraf trigeminal, facial, dan vagus). Pada saraf kranial terdapat satu saraf yang memiliki daerah perebaran yang luas sehingga disebut saraf pengembara (nervus vagus).

Saraf Spinal

Saraf pada tulang belakang memiliki 31 pasang serabut saraf, yang merupakan gabungan neuron sensorik dan motorik. Saraf sensorik memasuki sumsum tulang belakang dari bagian akar dorsal, sedangkan bagian dendrit berasal dari reseptor. Saraf motorik memasuki sumsum tulang belakang melalui akar ventral dan semua bagian neuritnya menuju ke efektor.

2. Sistem Saraf Tepi

- Berdasarkan arah impuls, sistem saraf tepi dibagi menjadi 2 yaitu: **sistem aferen** dan **eferen** (menghantarkan informasi dari sistem saraf pusat ke otot atau kelenjar).
- Sistem saraf somatik mengandung saraf yang menghantarkan impuls dari otak (sistem saraf pusat) ke otot pada rangka. Sistem saraf ini hanya menghasilkan gerakan di jaringan otot rangka.
- Sistem saraf otonom merupakan sistem saraf yang mengontrol organ-organ dalam. Saraf otonom terdiri dari 3 jenis yaitu sistem saraf simpatik (merangsang kinerja organ, neurotransmitter; noradrenalin) dan saraf parasimpatik (menghambat kinerja organ; neurotransmitter asetil-kolin).

B. ALAT INDRA

1. Mata

Mata memiliki reseptor penangkap cahaya yang disebut fotoreseptor. Mata memiliki bagian-bagian sebagai berikut.

- Lapisan luar: sklera**, pada bagian depan bersifat transparan disebut **kornea**.
- Lapisan tengah: koroid** yang terdapat:
 - **iris** (pemberi pigmen pada mata) berfungsi untuk membantu pelebaran dan penyempitan lubang pupil,

- **pupil** sebagai tempat masuknya cahaya.
- c. **Lapisan mata dalam: retina** yang terdapat:
 - **lensa mata:** untuk mengatur fokus mata melalui daya akomodasi,
 - **bintik kuning (fovea):** sebagai tempat pembentukan bayangan (terdiri dari sel batang yang peka terhadap cahaya redup dan sel kerucut yang peka terhadap cahaya terang), dan
 - **bintik buta** sebagai tempat masuk dan pembelokan sel saraf menuju saraf pusat, serta terdapat pula cairan pengisi bolamata (**aqueous humor dan vitreous humor**).

Mekanisme penglihatan:

Rangsang cahaya → kornea → cairan pengisi bola mata aqueous humor → lensa mata → cairan pengisi bola mata vitreous humor → retina → saraf pusat → melihat

2. Telinga

Telinga memiliki reseptor bunyi yang disebut fonoreseptor dan memiliki alat keseimbangan. Bagian-bagian telinga adalah sebagai berikut.

- Bagian luar: cuping telinga dan saluran telinga luar.
- Bagian telinga tengah: membrana tympani, fenestra ovalis, tulang maleus (martil), inkus, dan stapes (sanggurdi) yang berfungsi sebagai penghantar getaran suara.
- Bagian telinga dalam: canalis semicircularis, tingkap oval, koklea atau rumah siput yang terdapat fonoreseptor yaitu organon korti, organon vestibuli sebagai alat keseimbangan (statireseptor), dan saraf.

Mekanisme mendengar:

Rangsang bunyi → membrana tympani → tulang martil → landasan → sanggurdi → tingkap oval → cairan limfa dalam koklea → sel-sel fonoreseptor → selaput tingkap → saraf auditori → saraf pusat → mendengar.

3. Kulit

Pada kulit terdapat reseptor untuk sentuhan, panas, dingin, dan tekanan. Macam-macam reseptor tersebut yaitu:

- Paccini (ujung saraf penerima tekanan kuat), Meissner (ujung saraf peraba),
- Krause (ujung saraf perasa dingin),
- Merkel (ujung saraf perasa sentuhan dan tekanan ringan), dan

- ujung saraf tanpa selaput (untuk perasa nyeri).

4. Indera Pembau (Hidung)

Pada hidung terdapat reseptor berupa kemoreseptor yang terdapat di permukaan dalam hidung. Reseptor tersebut merupakan akhiran dari saraf olfaktorik.

5. Indera Pengecap (Lidah)

Pada lidah terdapat kemoreseptor (peka terhadap zat kimia yang larut) yang berada di papilla lidah dan sedikit di bagian langit-langit. Bagian ujung lidah merasakan rasa manis, bagian samping depan merasakan rasa asin, bagian samping belakang merasakan asam, dan bagian pangkal merasakan pahit.

C. HORMON

Hormon merupakan bagian dari sistem koordinasi yang bekerja bersama sistem saraf. Hormon disekresikan oleh kelenjar-kelenjar endokrin langsung ke peredaran darah yang berfungsi untuk keseimbangan internal, reproduksi, pertumbuhan dan perilaku. Kelenjar-kelenjar endokrin pada tubuh manusia, antara lain:

- Hipofisis (pituitari)**, menghasilkan hormon
 - Adrenocorticotrophic Hormone (ACTH)*, berfungsi untuk merangsang kelenjar adrenal untuk mensekresi glukokortikoid (untuk mengatur metabolisme karbohidrat).
 - Somatotropic Hormone (STH)*, berfungsi untuk pertumbuhan.
 - Lutenizing Hormone (LTH)*, berfungsi merangsang terjadinya ovulasi.
 - Tyroid Stimulating Hormone (TSH)*, berfungsi mengatur pertumbuhan dan fungsi kelenjar tiroid.
 - Gonadotropic Hormone (GH)*.
 - Vasopresin*, berfungsi menurunkan tekanan darah.
 - Oksitosin*, berfungsi mempengaruhi kontraksi otot usus.
- Kelenjar Gondok (Tiroid)**: menghasilkan hormon tiroksin untuk pertumbuhan.
- Thymus**: menghasilkan hormon somatotropin
- Kelenjar anak gondok (paratiroid)** yang menghasilkan hormon PTH
- Kelenjar kelamin**
Menghasilkan hormon testosteron (pada pria) dan estrogen serta progesteron pada wanita.
- Kelenjar anak ginjal (adrenal)**
Menghasilkan hormon kortison, adrenalin, dan aldosteron.

A. ALAT REPRODUKSI

1. Alat Reproduksi Pria

- a. **Testis:** sepasang, berbentuk bulat, di dalamnya terdiri dari saluran yang melilit-lilit, dikelilingi beberapa lapis jaringan ikat. Di dalamnya terdapat **tubulus seminiferus** (tempat pembentukan sperma), dan terdapat **sel-sel Leydig** yang tersebar di antara tubulus seminiferus yang menghasilkan hormon testosteron dan androgen.
- b. **Skrotum:** pembungkus testis.
- c. **Saluran reproduksi:** **epididimis** (tempat pendewasaan sperma) dan **vas deferens** (lanjutan epididimis yang berfungsi untuk mengangkut sperma ke vesicula seminalis).
- d. **Kelenjar kelamin:** sepasang **vesicula seminalis** (mensekresikan semen), **kelenjar prostat** (tempat sekresi semen), **kelenjar bulbourethralis** (sebelum proses ejakulasi menghasilkan getah bening untuk menetralkan urin asam yang tersisa di uretra).
- e. **Penis:** berfungsi untuk kopulasi.
- f. **Uretra:** saluran tempat keluarnya sperma dan urin.

2. Alat Reproduksi Perempuan

- a. **Ovarium:** sepasang, terdapat di rongga perut, dilindungi oleh kapsul pelindung keras yang banyak mengandung folikel (menghasilkan hormon estrogen, progesteron dan menghasilkan sel telur).
- b. **Vagina:** berfungsi untuk kopulasi.
- c. **Saluran reproduksi:** **oviduk** (saluran telur) yang terdapat **tuba falopi** tempat bertemunya sel kelamin jantan dan betina.
- d. **Rahim:** sebagai tempat perkembangan embrio.

B. MENSTRUASI

Menstruasi terjadi apabila sel telur tidak dibuahi oleh sel sperma, sehingga akan terjadi peluruhan dinding rahim (endometrium). Prosesnya sebagai berikut.

1. Fase Menstruasi

Sel telur tidak dibuahi, saat ini korpus luteum menghentikan produksi hormon progesteron (hormon yang mempertahankan dinding uterus), sehingga endometrium berikut pembuluh darah di dalamnya akan luruh.

2. Fase Sebelum Ovulasi

Konsentrasi progesteron yang menurun memicu kelenjar hipofisis mensekresikan hormon Folikel Stimulating Hormone (FSH) untuk merangsang pembentukan folikel baru pada ovarium. Setelah folikel masak, dapat mensekresikan hormon estrogen yang berfungsi menghambat hormon FSH serta memicu pembentukan hormon LH untuk melepaskan sel telur (ovulasi). Pada proses pengaturan kehamilan, sekresi hormon FSH dan LH dicegah dengan menggunakan alat kontrasepsi seperti pil, suntikan depopvera, dan susuk KB.

3. Ovulasi

Sekresi hormon LH memicu pelepasan sel telur dari ovarium menuju rahim. Folikel yang telah membebaskan ovum akan membentuk korpus luteum yang mensekresikan hormon pemerkuat dinding rahim yaitu progesteron.

4. Fase sesudah Ovulasi

Fase ini merupakan fase di antara ovulasi dan tahap menstruasi selanjutnya, apabila tidak terjadi pembuahan, korpus luteum akan berubah menjadi korpus albicans (tidak menghasilkan estrogen dan progesteron lagi), akibatnya dinding endometrium akan luruh dan mengalami fase menstruasi kembali.

A. EKOLOGI

Ekologi (Bahasa Yunani *oikos*: rumah, *logos*: ilmu) adalah ilmu mengenai interaksi antara organisme dengan lingkungannya. Lingkungan terdiri dari:

- a. **Komponen abiotik**: faktor-faktor kimiawi dan fisik tak hidup yang berada di sekitar organisme.
- b. **Komponen biotik**: komponen yang bersifat hidup.

1. Konsep Ekologi

Kajian ekologi mencakup interaksi antarkomponen dari tingkat individu hingga tingkat bioma (salah satu komunitas utama di dunia, diklasifikasikan berdasarkan vegetasi dominan dan ditandai adaptasi organisme terhadap tempat tertentu tersebut).

Organisasi kehidupan dari yang terkecil hingga terbesar adalah sebagai berikut.

- a. **Individu**: organisme tunggal.
- b. **Populasi**: sekumpulan individu sejenis di suatu tempat, dalam waktu tertentu.
- c. **Komunitas**: kumpulan beberapa populasi yang menempati wilayah yang sama dan saling berinteraksi.
- d. **Ekosistem**: kesatuan fungsional antara komponen biotik dan abiotik.
- e. **Biosfer**: kesatuan seluruh ekosistem di bumi.

2. Rantai Makanan

Merupakan jalur di mana makanan dipindahkan dari satu tingkatan trofik ke tingkatan trofik yang lain. Rantai makanan dimulai dari produsen. Tingkatan trofik organisme dalam rantai makanan meliputi:

- a. **Tingkat trofik I**: produsen, yaitu tumbuhan yang melakukan fotosintesis.
- b. **Tingkat trofik II**: meliputi konsumen primer, yaitu hewan-hewan herbivor.
- c. **Tingkat trofik III**: meliputi konsumen sekunder, yaitu hewan-hewan karnivor.
- d. **Tingkat trofik IV**: meliputi organisme pengurai (detritivor), yaitu bakteri dan fungi.

3. Aksi-Interaksi

Adanya interaksi menunjukkan adanya hubungan yang saling mempengaruhi antara faktor biotik, dan abiotik, dalam suatu ekosistem. Interaksi ini terjadi di setiap tingkatan trofik organisme kehidupan. Beberapa interaksi yang terjadi di antara makhluk hidup:

- a. **Kompetisi**: interaksi antara dua organisme berbeda populasi dikarenakan kesamaan kebutuhan dan habitatnya.
- b. **Predasi**: interaksi antara organisme pemangsa (predator) dan yang dimangsa. Predator umumnya memiliki tubuh yang lebih besar dibanding yang dimangsa.
- c. **Simbiosis mutualisme**: interaksi antara organisme yang bersifat saling menguntungkan.
- d. **Simbiosis komensalisme**: interaksi antara dua organisme, salah satu pihak diuntungkan dan pihak lain tidak mendapat pengaruh.
- e. **Simbiosis parasitisme**: interaksi antara parasit dan inangnya. Ukuran parasit lebih kecil dari ukuran inangnya.
- f. **Netral**: interaksi antarpopulasi tidak saling mempengaruhi.

Sedangkan interaksi yang melibatkan komponen biotik dan abiotik adalah sebagai berikut.

- a. **Arus energi**
Energi (matahari) → produsen → konsumen I → konsumen II → konsumen III → pengurai.
- b. **Produktivitas Ekosistem**
Merupakan laju perubahan energi cahaya atau energi kimiawi anorganik menjadi energi kimiawi organik (senyawa organik) oleh organisme autotrof pada suatu ekosistem, yang nantinya dapat digunakan sebagai bahan makanan.
- c. **Daur Biogeokimia**
Siklus yang melibatkan perpindahan senyawa kimia (senyawa anorganik) melalui jalur organisme (sebagai perantara) dan kemudian senyawa tersebut kembali ke lingkungan fisiknya. Misal : daur karbon.
- d. **Organisme Autotrofik**
Makhluk tersebut mampu membentuk zat organik dari bahan anorganik yang diperoleh dari lingkungan. Organisme autotrofik dibagi menjadi:
 - *fototrofik*: menggunakan cahaya sebagai energi sintesis nutrisi, dan
 - *kemoautotrof*: menggunakan energi kimia sebagai energi sintesis nutrisi.
- e. **Organisme Heterotrofik**
Makhluk tersebut memperoleh makanan dari hasil pembentukan organisme lain (senyawa organik).

4. Suksesi Ekologis

Merupakan perubahan komposisi spesies dalam suatu komunitas biologis (sering kali disebabkan karena adanya gangguan). Contoh: munculnya tumbuh-tumbuhan baru pada suatu hutan pasca terjadi kebakaran.

Suksesi dapat dibagi menjadi:

- *suksesi primer*: suksesi terjadi pada daerah yang sebelumnya tidak terdapat organisme), contohnya suksesi pada lahar bekas bencana letusan gunung Galunggung,
- *suksesi sekunder*: suksesi yang terjadi pada daerah yang komunitas di tempat tersebut telah dimusnahkan atau dihilangkan karena adanya gangguan, contohnya suksesi padang rumput menjadi hutan.

B. LINGKUNGAN

Keseimbangan lingkungan dipengaruhi keseimbangan yang terjadi pada tingkat rantai makanan makhluk hidup. Apabila salah satu mata rantai hilang dan tidak proporsional, maka tingkatan rantai makanan berikutnya akan terganggu, akibatnya keseimbangan lingkungan akan terganggu. Selain itu, keseimbangan lingkungan dapat terganggu oleh ulah manusia juga peristiwa alam.

1. Pencemaran Udara

Dapat disebabkan oleh pembakaran tidak sempurna kendaraan yang (menghasilkan gas CO), gas CO₂, H₂S dari asap pabrik.

2. Pencemaran Air

Dapat disebabkan tumpahan minyak dari kapal tangker di laut, sampah-sampah yang dibuang di laut, limbah-limbah industri rumah tangga yang dibuang sembarangan (tidak pada *septic tank*) sehingga dapat mencemari air tanah dan sungai.

3. Pencemaran Tanah

Dapat disebabkan oleh sampah plastik dan pestisida.

4. Pencemaran Suara

Disebabkan oleh suara kendaraan bermotor, suara mesin pabrik, suara pesawat, dan suara kereta api.

Reduce, Reuse, Recycle (3R)

Merupakan upaya yang dapat dilakukan manusia untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan yaitu dengan:

- **reduce**: mengurangi penggunaan bahan-bahan yang dapat mencemari lingkungan seperti plastik, pestisida, CFC;
- **reuse**: pemanfaatan barang bekas yang masih dapat digunakan kembali; dan
- **recycle**: mendaur ulang barang-barang bekas pakai (khususnya yang dapat mencemari lingkungan) untuk dimanfaatkan kembali menjadi bahan baku pembuatan suatu produk.

A. SUBSTANSI GENETIK

- **Gen** merupakan sepenggal DNA yang berfungsi mengontrol pembentukan/sintesis protein untuk perkembangan dan metabolisme, sekaligus sebagai alat pewarisan sifat ke keturunan selanjutnya.
- Gen tersebut ditentukan oleh urutan basa nitrogen yang terdapat pada DNA. DNA tersebut terantai di dalam **kromosom**.
- Selain terdapat DNA, dalam kromosom juga terdapat protein dan RNA. Kromosom tersebut terdapat di dalam inti sel dan dapat mengalami pembelahan saat meiosis.
- **Kromosom homolog** adalah pasangan kromosom (salah satu diturunkan dari ibu dan satunya dari ayah) dengan panjang, posisi sentromer, dan memiliki pola pewarnaan sama (saat dipreparasi) yang memiliki gen untuk karakter yang sama pada lokus yang berkaitan.
- Lokus merupakan tempat gen berada pada kromosom. Gen-gen yang menempati lokus yang sama pada kromosom homolog dan memiliki tugas yang serupa/hampir serupa disebut **alel** (merupakan bentuk alternatif suatu gen). Apabila pada lokus yang sama terdapat lebih dari satu alel, maka disebut **alel ganda**.

B. STRUKTUR KIMIA DNA DAN RNA

Materi genetik terdapat di dalam kromosom yang berada di dalam nukleus (khususnya sel eukariotik). Nukleus tersebut merupakan nukleoprotein yang terdiri dari protein dan asam nukleat. Terdapat dua jenis asam nukleat yaitu sebagai berikut.

1. DNA (Deoxyribo Nucleic Acid)

- Tersusun dari deoksiribosa (gula pentosa), gugus fosfat, dan basa nitrogen.
Basa nitrogen DNA terdiri dari :
 - *Purin*: Guanin (G) dan Adenin (A)
 - *Pirimidin*: Timin (T) dan Sitosin (S)
- Berbentuk jalinan pita ganda yang panjang (*double helix*).
- Fungsi DNA berkaitan dengan sintesis protein dan pewarisan sifat.
- Terantai di dalam kromosom pada nukleus dan di dalam mitokondria.

2. RNA (Ribo Nucleic Acid)

- Tersusun dari ribosa (gula ribosa), dan basa nitrogen. Basa nitrogen RNA terdiri dari:
 - *Purin* : Guanin (G) dan Adenin (A)
 - *Pirimidin* : Urasil (U) dan Sitosin (S)
 RNA tidak memiliki basa Timin pada pirimidinnya tetapi digantikan oleh Urasil (U).
- Terdapat di nukleus dan sitoplasma.

RNA berdasarkan tempat dan fungsinya dibagi menjadi:

a. mRNA (*messenger RNA*)

Jenis RNA yang disintesis dari DNA, nantinya akan menentukan struktur primer dari suatu protein yang akan disintesis (membawa kode-kode dari DNA).

b. tRNA (*transfer RNA*)

Berfungsi untuk membawa asam amino-asam amino sesuai kode yang ditentukan DNA (spesifik) dan mengenali kodon yang tepat pada mRNA saat proses sintesis protein.

c. rRNA (*ribosomal RNA*)

Jenis RNA yang paling melimpah. Bersama-sama dengan protein RNA ini akan membentuk struktur ribosom sebagai tempat terjadinya sintesis protein (tempat koordinasi pengkodean berurutan molekul tRNA dengan seri kodon mRNA).

Berikut penjelasan mengenai proses sintesis protein yang melibatkan DNA dan RNA

1. Transkripsi

Proses ini merupakan sintesis mRNA dengan menggunakan DNA sebagai cetakan.

2. Translasi

Setelah mRNA terbentuk, mRNA keluar dari nukleus menuju ribosom untuk memulai tahap translasi. Translasi merupakan proses sintesis polipeptida dengan menggunakan informasi genetik yang dikode pada suatu molekul mRNA. Saat proses tersebut, tRNA akan membawa asam amino-asam amino yang sesuai dengan kode genetik pada mRNA, untuk kemudian dirangkai menjadi suatu polipeptida.

3. Post translation

Pada tahap ini polipeptida yang telah disintesis kemudian mengalami beberapa tahapan tertentu (*folding*, penambahan gugus tertentu, pemutusan ikatan untuk aktivasi) sehingga terbentuk protein.

C. REPRODUKSI SEL

Sel mampu bereproduksi dengan cara mengalami pembelahan. Sel dapat mengalami pembelahan mitosis, meiosis, dan amitosis.

1. Pembelahan Mitosis

Pembelahan mitosis adalah pembelahan sel yang menghasilkan sel anakan dengan jumlah kromosom sama dengan jumlah kromosom sel induk. Tahap-tahapnya adalah sebagai berikut.

- Profase:** nukleolus menghilang, kromosom mulai memadat, terbentuk benang-benang kromatin.
- Metafase:** kromosom terletak sejajar dengan bidang ekuator, tampak benang spindel yang terpancang dari sentriol ke sentromer.
- Anafase:** tampak kromatid tertarik menuju ke sentriol.
- Telofase:** nukleolus muncul kembali dan terjadi sitokinesis (pembelahan sitoplasma). Sehingga terbentuk 2 sel anak dengan jumlah kromosom sama dengan induk ($2n$).

2. Pembelahan Meiosis

Pembelahan meiosis adalah pembelahan sel yang menghasilkan sel anakan dengan jumlah kromosom setengah dari jumlah kromosom sel induk.

Meiosis I (Pemisahan kromosom homolog)

- Profase I**
 - *Leptoten*: kromosom mulai memadat.
 - *Zigoten*: kromosom homolog yang masing-masing tersusun dari dua kromatid saudara muncul secara bersamaan (membentuk bivalen).
 - *Pakiten*: bivalen mengalami pemendekan.
 - *Diploten*: kromosom homolog merenggang, kemudian kromatid terpisah membentuk tetrad (sebuah kompleks empat kromatid).
 - *Diakinesis*: sentromer dari kromosom homolog merenggang, kromatid mengalami pemendekan.
- Metafase I**: kromosom berjajar di bagian ekuator, masih dalam pasangan homolog.
- Anafase I**: kromosom bergerak ke arah kutub sel. Akan tetapi kromatid saudara tetap terikat pada sentromernya. Kromosom homolog tertarik bergerak ke arah berlawanan (hal ini berkebalikan dengan perilaku kromosom selama mitosis).
- Telofase I**: pada fase ini terjadi pembelahan sitoplasma (sitokinesis), terbentuk 2 sel anak yang

masing-masing haploid (n)/ setengah dari induk.

Meiosis II (Pemisahan kromatid saudara)

- Profase II**: proses meiosis II menyerupai mitosis.
- Metafase II**: kromosom berada di bidang ekuatorial
- Anafase II**: sentromer kromatid saudara akhirnya memisah, dan kromatid saudara dari masing-masing pasangan, kini merupakan kromosom individual, bergerak ke arah kutub sel berlawanan.
- Telofase II**: terjadi sitokinesis. Pada akhir sitokinesis menghasilkan 4 sel anak, masing-masing dengan jumlah kromosom haploid (n) (dari kromosom yang tidak direplikasi).

3. Gametogenesis

Merupakan proses pembentukan gamet. Gametogenesis terjadi pada sel-sel germinal pada kelenjar kelamin. Gametogenesis pada pria disebut *spermatogenesis*, sedangkan pada wanita disebut *oogenesis*.

- Spermatogenesis**
Spermatogonium ($2n$) → spermatosit primer ($2n$) → terjadi meiosis I menjadi spermatosit sekunder, menghasilkan dua sel anakan (n) → mengalami meiosis II menjadi spermatid, total 4 sel anak (n) → menjadi sel sperma (n).
- Oogenesis**
Oogonium ($2n$) → oosit primer → mengalami meiosis I menjadi satu sel oosit sekunder dan satu sel badan polar pertama (n) → oosit sekunder mengalami meiosis II menjadi satu sel ovum (n) dan satu sel badan polar kedua (n).

D. PRINSIP-PRINSIP HEREDITAS

Prinsip dasar hereditas ditemukan oleh *Gregor Mendel* dengan membudidayakan kacang Ercis sebagai objek penelitian.

Hukum Mendel I

Pada saat pembentukan gamet, pasangan alel akan memisah secara bebas (hukum segregasi).

Misalnya: Individu Aa gametnya A dan a.

Hukum Mendel II

Pada saat pembentukan sel gamet (pembelahan meiosis), gen-gen sealel akan memisah dan mengelompok dengan gen lain yang bukan alelnya secara bebas.

Misalnya: Individu HhKk

Penyimpangan Hukum Mendel

1. Penyimpangan semu

a. Interaksi Gen

Saling pengaruh antara dua pasang gen atau lebih yang mempengaruhi individu.

Contoh: Ayam berpial **rose** (RRpp) dikawinkan dengan ayam berpial **pea** (rrPP). Menghasilkan keturunan ayam berpial **walnut** (RrPp). Keturunan F₂ nya memiliki perbandingan fenotip: 9(R_P_):3(R_pp):3(rrP_):1(rrpp)

b. Epistasis-Hipostasis

Gen dominan maupun gen resesif yang menutupi gen dominan atau gen resesif lain yang bukan alelnya. Contoh: Jagung berbiji **hitam** (HHkk) dikawinkan dengan jagung berbiji **kuning** (hhKK):

- menghasilkan keturunan F₁ jagung berbiji hitam (HhKk) karena hitam (H) epistasis terhadap gen kuning (K),
- keturunan F₂ memiliki perbandingan fenotip 12 Hitam: 3 Kuning: 1 Putih.

c. Kriptomeri

Gen dominan yang tidak menunjukkan pengaruhnya apabila berdiri sendiri tanpa pengaruh gen dominan yang lain (kriptomeri = tersembunyi). Contoh: Bunga merah (MMpp) dikawinkan dengan bunga putih (mmPP):

- menghasilkan keturunan F₁ bunga ungu (MmPp),
- keturunan F₂ memiliki perbandingan fenotip 9 ungu : 3 merah : 4 putih.

d. Sifat Intermediet

Pengaruh gen dominan maupun resesif sama kuat sehingga menghasilkan sifat keduanya (jika heterozigot). Contoh: Bunga merah (MM) dikawinkan dengan bunga putih (mm) menghasilkan keturunan bunga merah muda (Mm).

e. Polimeri

Perkawinan heterozigotik dengan banyak sifat beda yang masing-masing berdiri sendiri, akan tetapi mempengaruhi bagian yang sama pada individu. Contoh: Gandum biji merah (M₁M₁M₂M₂) dengan gandum biji putih (m₁m₁m₂m₂):

- menghasilkan keturunan F₁ gandum biji merah (M₁m₁M₂m₂),
- keturunan F₂ memiliki perbandingan fenotip 15 merah :1 putih.

f. Gen Komplementer

Gen-gen saling berinteraksi dan saling melengkapi, apabila salah satu gen tidak muncul maka kemungkinan salah satu karakter akan terhambat.

Contoh: Bunga putih (CCpp) dikawinkan dengan bunga putih (ccPP):

- menghasilkan keturunan F₁ dengan warna ungu (CcPp),
- keturunan F₂ memiliki perbandingan fenotip 9 ungu : 7 putih.

2. Penyimpangan sejati

a. Pautan

- Merupakan dua gen yang terletak pada kromosom yang sama (dalam satu kromosom homolog) dan letaknya saling berdekatan atau tidak. Kondisi letak gen saling berdekatan atau tidak diadakan *tes cross* hibrid.
- Pautan antara dua macam gen atau lebih akan menghasilkan keturunan dengan perbandingan genotip dan fenotip yang lebih sedikit dibandingkan gen-gen yang tidak berpautan (karena gamet-gamet yang dihasilkan jumlahnya sedikit).

b. Pindah Silang (*Crossing Over*)

- Merupakan pertukaran timbal balik bahan-bahan genetik antara kromatid-kromatid bukan saudara pada kromosom homolog selama sinapsis meiosis I.
- Pindah silang menghasilkan keturunan: kombinasi Parental (KP) dan rekombinan (RK)

c. Pautan Seks

Merupakan gen-gen yang berlokus/terletak pada kromosom seks. Contoh: gen penentu sifat buta warna pada manusia terpaut pada kromosom X.

d. Alel Ganda

Merupakan alel yang dapat menyusun genotip lebih dari dua variasi gen. Contohnya, golongan darah manusia.

e. Determinasi Seks

Penentuan jenis kelamin ditentukan terutama oleh komposisi kromosom seks. Berikut beberapa sistem pengelompokan jenis kelamin.

- **Sistem XY** (pada manusia; wanita: 44A+XX, pria: 44A+XY).
- **Sistem XO** (pada belalang; betina: 22A+XX, jantan: 22A+XO).
- **Sistem ZW** (pada unggas; betina 78A+ZW dan jantan 78A+ZZ).
- **Sistem haplo-diploid** (pada lebah).

Letak Gen pada Kromosom

1. Gen Bebas

Merupakan gen-gen tidak terletak dalam satu kromosom. Gen-gen tersebut mengikuti hukum

Mendel yaitu pemisahan secara bebas (segregasi) dan pengelompokan secara bebas (asortasi). Misalnya: individu AaBb saat gametogenesis menghasilkan gamet: AB, Ab, aB, ab dengan peluang yang sama yaitu 1:1:1:1.

2. Gen Terangkai (terpaut)

Merupakan gen-gen yang terletak dalam satu kromosom dan cenderung memisah bersama-sama (sesuai kaidah W.S. Sutton). Gen yang terletak semakin dekat, ikatannya semakin erat.

E. HEREDITAS MANUSIA

1. Jenis kelamin

Manusia memiliki 23 pasang kromosom (46 kromosom). Jenis kelamin manusia dikendalikan oleh sepasang kromosom seks yaitu kromosom X dan Y untuk laki-laki serta X dan X untuk perempuan. Saat pembelahan meiosis, sel gamet yang dihasilkan perempuan hanya satu macam yaitu X, sedangkan pada laki-laki akan dihasilkan dua macam sel gamet yaitu X dan Y.

2. Cacat dan Penyakit Menurun

a. Hemofilia

Merupakan keadaan darah seseorang sukar membeku saat mengalami luka. Hal tersebut disebabkan adanya gen resesif h yang terpaut pada kromosom seks X (*sex X linkage resesive*). Apabila dalam keadaan homozigot bersifat letal. Sehingga:

- pada laki-laki kemungkinannya normal (XY) dan Hemofilia (X^hY),
- pada perempuan kemungkinannya normal (XX), normal carier (H^hX) dan hemofilia (X^hX^h) secara teoritis → kenyataannya letal.

b. Albino

Merupakan keadaan seseorang mengalami proses pigmentasi yang tidak normal (tidak memiliki sel-sel pembawa pigmen tubuh). Gen resesif tidak terpaut seks (*autosomal resesive*) dan muncul dalam keadaan homozigot resesif. Misalnya: Perkawinan individu jantan Aa dengan betina Aa menghasilkan keturunan AA:2Aa:aa. Sifat genotip aa inilah yang dapat menghasilkan keturunan albino.

c. Buta warna

Keadaan seseorang tidak dapat membedakan warna. Hal ini disebabkan oleh gen resesif yang terpaut seks pada kromosom X. Gen ini terpaut pada kromosom X, sehingga:

- pada laki-laki terdapat kemungkinan normal (XY) dan buta warna ($X^{cb}Y$),
- pada perempuan terdapat kemungkinan normal (XX), normal carier ($X^{cb}X$) dan buta warna ($X^{cb}X^{cb}$).

d. Golongan darah manusia

Sistem	Jenis	Gen	Genotip
ABO	A,B,AB,O	I^A, I^B, I^O	$I^A I^A, I^A I^O, I^B I^B, I^B I^O, I^A I^B, I^O I^O$
RH	RH^+, RH^-	Rh, rh	RhRh, Rhrh, rhrh
MN	M,MN,N	I^M, I^N	$I^M I^M, I^M I^N, I^N I^N$

Pengetahuan mengenai golongan darah sangat penting dalam membantu proses transfusi darah (sistem ABO), membantu menentukan genotip induk, mengetahui kemungkinan terjadi eritoblastosis pada bayi (sistem RH), juga penting untuk menentukan orang tua bayi (sistem MN). Eritoblastis adalah gugurnya janin dari kandungan ibunya karena perbedaan resus ibu dan janin yang dikandungnya.

F. MUTASI

Merupakan perubahan pada struktur kimiawi penyusun gen yang dapat menimbulkan perubahan sifat pada individu dan bersifat menurun.

Mutasi dapat terjadi pada gen dan kromosom. Berikut berbagai jenis mutasi.

1. Mutasi Titik/Point Mutation/Mutasi Gen

a. Mutasi tidak bermakna (*nonsense mutatuion*)

Perubahan pada triplet basa nitrogen, akan tetapi perubahan tersebut tidak mempengaruhi protein yang dibentuk.

b. Mutasi Ganda

Terjadi pengurangan atau penambahan 3 basa nitrogen.

2. Mutasi Kromosom (Mutasi Besar)

Terjadi perubahan jumlah kromosom, perubahan struktur atau susunan DNA. Mutasi ini terbagi menjadi beberapa jenis yaitu sebagai berikut.

• Kerusakan kromosom:

- *Delesi*: pengurangan salah satu gen dari sebuah kromosom bisa di awal (delesi terminal) atau tengah (delesi interstitial).
- *Duplikasi*: suatu kromosom menerima tambahan gen dari kromosom homolognya.
- *Inversi*: kromosom mengalami patah akibat sebelumnya kromosom membentuk lingkaran dan ujung kromosom yang melekat pada

bagian tengah kromosom tidak dapat lepas.

- **Katenasi:** bagian ujung dua kromosom homolog mengalami pertemuan dan gen-gen yang satu alel pada ujung-ujung kromosom tersebut menjadi berurutan.
- **Fisi:** terputusnya kromosom homolog pada bagian sentromer, bagian ujung kromosom melekat dengan bagian ujung lain dan bagian pangkal menyatu dengan bagian pangkal yang lain.
- **Translokasi:** terdapat tiga jenis translokasi, yaitu **homozigot atau respirok** (tukar menukar segmen kromosom non-homolog); **heterozigot atau non-respirok** (satu segmen kromosom bergabung dengan kromosom lain nonhomolog); dan **roberston atau fusi** (dua kromosom akrosentrik menjadi satu kromosom metasentrik).

- **Euploid.** Peristiwa kromosom kehilangan atau meng-alami penambahan perangkatnya. Misal dari $2n \rightarrow n$ atau $2n \rightarrow 4n$.
- **Aneuploid.** Kromosom mengalami perubahan pada salah satu atau lebih dari satu genom.

Berdasarkan prosesnya mutasi dibagi menjadi dua.

1. Mutasi alami, yaitu mutasi yang terjadi tanpa campur tangan manusia
2. Mutasi Buatan, yaitu mutasi yang kejadiannya disengaja oleh manusia, misalkan menggunakan bahan kimia atau sinar x.

Penyebab mutasi adalah sebagai berikut.

1. Bahan kimia: DDT (pestisida), pengawet makanan, benzopyrene pada asap rokok.
2. Bahan fisika: sinar UV, radioaktif.
3. Bahan biologi: virus dan bakteri.

BAB 18 EVOLUSI

A. TEORI EVOLUSI

Evolusi adalah perubahan yang terjadi pada makhluk hidup dalam kurun waktu yang relatif lama. Para ahli evolusi yang mengemukakan teori mengenai evolusi:

1. Jean Baptise Lamarck (1744-1829)
Perubahan yang terjadi akibat pengaruh lingkungan.
2. Charles Darwin (1809-1882)
Perubahan terjadi akibat adanya seleksi alam.

B. MEKANISME EVOLUSI

Evolusi dapat berlangsung akibat variasi genetik dan seleksi alam. Keturunan dari perkawinan bersifat bervariasi. Variasi dalam satu keturunan disebabkan oleh adanya **mutasi gen** dan adanya **rekombinasi gen-gen** dalam satu keturunan. Sedangkan seleksi alam terjadi berdasarkan kemampuan makhluk hidup untuk bertahan dan menyesuaikan diri terhadap lingkungan.

C. PETUNJUK ADANYA EVOLUSI

1. Variasi antara Individu-individu dalam Satu Spesies

Variasi tersebut dibedakan menjadi:

- variasi somatis (terjadi pada sel-sel somatis seperti ukuran tubuh dan fungsi fisiologis, bersifat tidak diturunkan),
- variasi germinal (variasi pada sel kelamin).

2. Fosil

Fosil merupakan sisa-sisa tubuh makhluk hidup yang telah membatu.

3. Homologi

Homologi yaitu alat-alat tubuh yang memiliki bentuk asal yang sama, kemudian mengalami perubahan struktur sehingga fungsinya menjadi berbeda. Misalnya: kerangka tungkai pada mamalia dibangun dari unsur kerangka yang sama, akan tetapi pada kenyataannya memiliki fungsi yang berbeda (tungkai depan manusia \rightarrow berjalan; tungkai depan kelelawar \rightarrow sayap terbang).

4. Embriologi Perbandingan

Organisme yang memiliki hubungan kekerabatan yang dekat akan mengalami tahapan yang sama dalam perkembangan embrionya. Pada hewan vertebrata, beberapa spesies menunjukkan persamaan pada fase-fase embrio tertentu. Setelah itu terjadi diferensiasi membentuk organ-organ tubuh sesuai dengan jenis masing-masing.

D. FREKUENSI GEN

Frekuensi gen adalah kehadiran suatu gen di dalam suatu populasi dihubungkan dengan frekuensi semua alelnya. Frekuensi gen dihitung menggunakan hukum Hardy-Weinberg.

Hukum Hardy-Weinberg

Mengemukakan tentang keseimbangan frekuensi genotip AA, Aa, dan aa dan perbandingan gen A dan a dari generasi ke generasi selalu sama selama dalam keadaan sebagai berikut.

1. Genotip AA, Aa, dan aa memiliki variabilitas dan fertilitas yang sama.
2. Perkawinan secara acak.
3. Tidak terjadi seleksi alam serta jumlah anggota populasi besar.
4. Kemungkinan mutasi dari gen-gen A dan a harus sama.
5. Tidak terjadi migrasi.
6. Frekuensi gen dalam populasi pada keadaan seimbang.

Secara matematis, hukum Hardy-Weinberg dinyatakan sebagai berikut.

Diketahui p = frekuensi gen; q = alel, maka:

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

Contoh penggunaan hukum di atas.

Frekuensi penderita albino pada suatu wilayah 1 : 10.000 (persentase 0,01%). Berapakah persentase orang memiliki genotip Aa?

Penyelesaian :

Diketahui penderita albino (aa) = 0,01%.

$$aa = q^2 = 1/10000 = 0,0001 \Leftrightarrow q = 0,01$$

Diketahui

$$p + q = 1$$

$$\Leftrightarrow p = 1 - q = 1 - 0,01 = 0,99$$

Orang yang bergenotip Aa (berfungsi $2pq$):

$$= 2 \times 0,99 \times 0,01 = 0,0198$$

$$\text{Persentasenya: } 0,0198 \times 100\% = 1,98\%$$

BAB 19

BIOTEKNOLOGI

A. PEMANFAATAN MIKROORGANISME DALAM BIOTEKNOLOGI

1. Mikroorganisme (jamur dan bakteri) sebagai agensia pengubah substrat bahan pangan menjadi produk makanan tertentu seperti yogurt, keju, tape, oncom, roti.
2. Penggunaan mikroorganisme sebagai penghasil antibiotik (bakteri *Streptomyces griseus* penghasil streptomisin, jamur *Penicillium notatum* penghasil penisilin).
3. Sebagai agensia pengendali hayati populasi hama pe-rusak tanaman perkebunan karena bakteri tersebut menghasilkan endotoksin (*Bacillus thuringiensis* terhadap kumbang perusak tanaman kelapa).
4. Mengatasi pencemaran perairan terhadap adanya logam yang berbahaya bagi kesehatan apabila terakumulasi dalam tubuh (contoh: *Bacillus ferooxidant*).

B. REKAYASA GENETIKA

Merupakan teknik pencangkakan bahan genetik dari suatu individu ke individu lain dengan harapan agar dihasilkan susunan bahan genetik baru yang dapat memberikan perubahan bagi makhluk hidup yang memilikinya.

Rekayasa genetika berkembang sejak ditemukan:

- **Enzim Restriksi** (gunting biologi)
Berfungsi untuk memotong DNA. Berdasarkan bagian yang dipotong (dalam atau luar), enzim ini dibedakan menjadi dua jenis yaitu: endonuklease restriksi dan eksonuklease restriksi.
- **Enzim Ligase** (lem biologi)
Untuk menghubungkan kembali potongan DNA yang telah dipotong dan disisipi gen baru.
- **Plasmid**
Merupakan penyimpan materi genetik (DNA), berbentuk melingkar, terletak di luar nukleoid, digunakan sebagai vektor untuk transfer gen pada bioteknologi.

Teknik Hibridoma

Merupakan teknik pengambilan dan penggabungan (fusi) dua sel dari jaringan yang berbeda baik dari organisme yang sama maupun tidak, sehingga nantinya dihasilkan **sel hibrid**. Teknik ini dimanfaatkan untuk membuat antibodi monoklonal guna mendeteksi penyakit (antibodi yang dihasilkan oleh suatu klon sel-sel sehingga sangat spesifik terhadap determinan antigen yang khas).

Dampak Negatif Rekayasa Genetika

1. Berpotensi menyebabkan pergeseran gen pada organisme hasil rekayasa genetika (transgenik). Hal ini dapat berdampak buruk bagi organisme transgenik tersebut.
2. Organisme transgenik berpotensi mudah terserang penyakit.
3. Berpotensi menimbulkan penyakit bagi organisme lain.
4. Berpotensi mengalami perubahan genotip terhadap komunitas ekologis.

C. TEKNIK KULTUR JARINGAN TUMBUHAN DAN KLONING

1. Teknik Kultur Jaringan Tumbuhan

- Merupakan teknik penggandaan tanaman secara *in vitro* (dalam tabung) menggunakan bagian tanaman.
- Bagian tanaman (seperti pucuk daun) yang akan dikulturkan dalam botol kultur disebut eksplan.

2. Kloning

Kloning memiliki konsep dasar membentuk individu dengan komposisi genetik yang sama. Berikut skema umum proses kloning.

Sel telur organisme → dihilangkan inti selnya (dirusak dengan radiasi UV) untuk dijadikan sebagai sel resipien → kemudian inti sel pada sel resipien digantikan dengan inti sel somatik organisme tersebut → kemudian dirangsang dengan kejutan listrik (agar inti sel tersebut menyatu dengan sel resipien) → setelah itu sel ditanamkan di rahim organisme tersebut → mengalami perkembangan menjadi klon.

BAB 20

EVOLUSI

A. MACAM-MACAM KEKEBALAN TUBUH

Manusia memiliki dua jenis sistem kekebalan tubuh yaitu sistem kekebalan bawaan (*innate*) dan sistem kekebalan yang didapat (*adaptif*).

1. Sistem Kekebalan Bawaan (Innate)

Kekebalan bawaan merupakan sistem kekebalan yang diperoleh manusia sejak lahir, bersifat tidak khas. Misalnya:

- a. Kulit manusia yang berfungsi sebagai “barier fisik” yang menghalangi segala serangan organisme patogen dari lingkungan eksternal.
- b. Adanya enzim lisozim (pemecah dinding sel bakteri) mampu melawan bakteri berbahaya yang masuk ke dalam tubuh.
- c. Keberadaan enzim-enzim pencernaan dapat membunuh bakteri bahaya yang masuk ke dalam sistem pencernaan.

- d. Adanya senyawa kimia tertentu dalam darah yang dapat menyerang organisme patogen yang masuk ke dalam tubuh.

2. Sistem Kekebalan yang Didapat (Adaptif)

Selain kekebalan bawaan, manusia juga dapat membentuk sistem kekebalan tubuh dari infeksi organisme patogen maupun toksin virus. Sistem kekebalan didapat ini penting untuk pertahanan tubuh dari invasi organisme, dimana tubuh tidak memiliki sistem kekebalan bawaan untuk organisme infeksi tersebut. Oleh sebab itu, proses vaksinasi dengan vaksin sangat penting untuk kekebalan tubuh manusia.

Vaksin merupakan sediaan yang biasanya dibuat dari suatu patogen infeksi, diberikan untuk menyediakan kekebalan tubuh manusia tanpa menyebabkan rasa sakit.

Sistem kekebalan didapat (*adaptif*) dibagi menjadi dua:

- **kekebalan humoral** (pembentukan antibodi yang beredar di dalam tubuh untuk menyerang antigen dari agensia penginfeksi), dan
- **kekebalan seluler** (pembentukan limfosit atau sel darah putih yang mampu menyerang agensia asing penginfeksi dan menghancurkannya).

B. ANTIGEN DAN ANTIBODI

1. Antigen

- Antigen merupakan suatu senyawa kimia spesifik yang dimiliki oleh organisme penginfeksi yang dapat mendorong timbulnya respon imun tertentu.
- Antigen tersebut dapat berupa makromolekul seperti protein toksin pada bakteri, polisakarida berukuran besar, lipoprotein dari agensia penginfeksi, yang dapat berikatan secara spesifik dengan komponen respon imun tubuh manusia (antibodi).
- Bagian antigen yang mengenali antibodi disebut epitop.

2. Antibodi

- Antibodi merupakan molekul protein di dalam tubuh yang dapat mengenali antigen asing spesifik.
- Pada antibodi terdapat bagian yang mengenali antigen tertentu yaitu bagian *paratop*.
- Antibodi bekerja dengan 3 macam cara untuk melindungi tubuh.
 - a. Langsung menyerang agensia penginfeksi: melalui proses pembentukan kompleks antigen dan antibodi dalam suatu gumpalan (aglutinasi), melalui presipitasi (kompleks antigen yang larut dan antibodi tidak larut), antibodi langsung menyerang agensia penginfeksi sehingga sel pecah (lisis), dan antibodi mengadakan netralisasi terhadap toksin antigen.
 - b. Aktivasi sistem komplemen yang pada akhirnya dapat menghancurkan agensia penginfeksi.
 - c. Aktivasi sistem anadilaktik sehingga lingkungan sekitar antigen penginfeksi berubah, sehingga toksisitasnya dapat dicegah.

C. PERAN JARINGAN LIMFATIK TERHADAP SISTEM KEKEBALAN TUBUH

Sistem limfatik terdiri dari komponen: pembuluh limfatik, sel limfoid (limfosit dan makrofag), jaringan limfoid, dan organ limfoid (nodus limfaticus, spleen,

thymus, dan tonsil). Sistem limfatik turut terlibat dalam sistem pertahanan tubuh (baik seluler maupun humoral). Hal tersebut salah satunya ditunjukkan oleh: sel limfosit T (sel T) berasal dari thymus berfungsi untuk mengenali antigen dan melepaskan senyawa *cytokines* yang dapat mendorong pertumbuhan dan respon sel B dan makrofag terhadap antigen. Selain limfosit T juga terdapat limfosit B (sel B) yang berasal dari sumsum tulang belakang, nantinya akan berkembang menjadi antibodi yang dapat mengikat antigen spesifik.

D. ALERGI

Alergi merupakan efek samping yang ditimbulkan oleh imunitas (kekebalan tubuh). Alergi dapat terjadi pada setiap orang normal dan terdapat pula beberapa orang yang memiliki kecenderungan untuk memiliki alergi.

1. Alergi pada Orang Normal

- a. Alergi yang disebabkan reaksi antara antigen-antibodi yang berat.
Reaksi antigen-antibodi dapat mengaktifkan sistem komplemen untuk segera menghancurkannya. Pengaktifan tersebut dapat memicu aktivitas enzim-enzim proteolitik (pemecah protein), akibatnya pembuluh-pembuluh darah kecil dapat mengalami luka dan peradangan.
- b. Alergi-reaksi tertunda
 - Misalnya alergi kulit yang disebabkan oleh obat-obatan, zat kimia tertentu dan beberapa kosmetik.
 - Reaksi alergi-tertunda ini disebabkan oleh limfosit yang disentisasi akibat terjadinya beberapa kali kontak dengan alergen. Limfosit yang disentisasi akan berdifusi ke darah dan mengikat toksin dari alergen. Reaksi pengikatan tersebut merupakan reaksi kekebalan seluler yang dapat memicu aktivasi makrofag yang pada akhirnya apabila reaksi terlalu berat dapat menyebabkan kerusakan jaringan.

2. Reaksi pada Orang yang Memiliki Kecenderungan untuk Alergi

Alergi-reaksi tertunda

Alergi tersebut secara genetik bersifat diturunkan. Hal tersebut ditunjukkan dengan antibodi IgE (disebut *regain/sensitizing antibody*) beredar dalam jumlah besar (tidak normal). Antibodi tersebut melekat pada seluruh tubuh terutama di sel mast dan basofil, sehingga reaksi antigen dan antibodi IgE tersebut

dapat merusak sel yang mengakibatkan pecahnya sel mast dan basofil diikuti pengeluaran histamin (reaksi imun jenis anafilaktoid). Jenis-jenis reaksi anafilaktoid yaitu:

- a. **Anafilaksis**
- b. **Urtikaria:** akibat antigen yang masuk daerah kulit tertentu dan menyebabkan reaksi anafilaktoid terlokalisasi. Hal tersebut dapat menyebabkan peningkatan permeabilitas kapiler sehingga kilit membengkak dan terjadinya pelebaran pembuluh darah.
- c. **Asma:** merupakan reaksi antigen-antibodi IgE dalam bronkiolus paru-paru. Zat anafilaksis bereaksi lambat yang dibebaskan sel mast rusak (akibat reaksi antigen-antibodi berlebihan), dapat menyebabkan spasme pada otot polos bronkiolus, sehingga penderita susah bernafas.

d. **Hay Fever**

Pada *hay fever*, reaksi antigen-antibodi IgE terjadi di hidung, sehingga histamin yang dikeluarkan dari reaksi ini menyebabkan pelebaran pembuluh darah pada hidung. Akibat pelebaran tersebut, sel yang membatasi hidung pada akhirnya membengkak dan mensekresikan cairan.