



Modul Ajar **BIOLOGI**



Lalu Amrullah



Modul Ajar **BIOLOGI**



Lalu Amrullah

Hak Cipta Dilindungi

*Dilarang memperbanyak atau memindahkan
Sebagian atau seluruh buku ini ke dalam bentuk
apapun tanpa izin tertulis dari penerbit
(All Rights Reserved)*

Judul

Modul Ajar: Biologi

Penulis

Lalu Amrullah, S.Pd.,M.Si

Editor

Harmoko

Layouter

Dicky Wahyudi Rifai

Desain Cover

Hidayat Hadrawi

Cetakan Pertama, Oktober 2025

ISBN 978-634-96432-5-2

Diterbitkan Oleh:

ALINEA INDONESIA

IKAPI No. 082/SSL/2025

Kab. Bone, Sulawesi Selatan/92753

Website. www.alineaindonesia.com

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, buku pertama saya ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai salah satu upaya untuk mempermudah pembaca, khususnya siswa, mahasiswa, dan pembelajar biologi pada umumnya, dalam memahami konsep dasar biologi.

Penulis menyadari bahwa penyusunan buku ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik, saran, dan masukan dari pembaca sangat diharapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga buku ini dapat menjadi sumber belajar yang bermanfaat dan menumbuhkan minat dalam mempelajari biologi

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga buku ini dapat terwujud.

Lombok Timur, 2025
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
BAB I KONSEP DASAR BIOLOGI.....	1
A. Biologi Sebagai Ilmu.....	1
B. Cabang Ilmu Biologi	6
BAB II ORGANISASI MATERI PENYUSUN KEHIDUPAN	8
A. Kimia Kehidupan	9
B. Hirarki Organisasi Kehidupan.....	11
BAB III STRUKTUR DAN FUNGSI SEL	12
A. Pengertian Sel.....	12
B. Bentuk dan Ukuran Sel.....	13
BAB 4 STRUKTUR ORGANISASI TUBUH.....	18
A. Struktur Dan Organisasi Tubuh Tumbuhan.....	18
B. Organ Tumbuhan.....	23
C. Struktur dan Organisasi Tubuh Hewan.....	26
BAB 5 SISTEM REPRODUKSI MAHLUK HIDUP	33
A. Organ Reproduksi Pada Hewan.....	33
B. Organ Reproduksi pada Tumbuhan	39
C. Proses Reproduksi Pada Hewan Tingkat Tinggi.....	43
D. Proses Reproduksi pada Tumbuhan.....	47
BAB 6 SISTEM REPRODUKSI PADA MANUSIA.....	50
A. Organ Reproduksi Pada Pria.....	51
B. Organ Reproduksi Bagian Luar dan Dalam	52
C. Organ Reproduksi Pada Wanita.....	57
D. Organ Reproduksi Bagian Luar dan Dalam	58
BAB 7 PEWARISAN SIFAT	65
A. Pengertian Pewarisan Sifat	65

B. Gen dan Kromosom.....	66
C. Hereditas Menurut Mendel	68
D. Hukum Pewarisan Sifat Mendel	71
E. Pewarisan Sifat Pada Manusia	80
BAB 8 INTERAKSI ANTAR ORGANISME DENGAN LINGKUNGAN	86
A. Pengertian Ekologi.....	86
B. Organisasi Kehidupan.....	87
C. KOMPONEN EKOSISTEM	89
D. TIPE-TIPE EKOSISTEM.....	89
E. Interaksi Individu.....	93
F. Pola-Pola Interaksi	96
G. Suksesi Ekosistem	104
BAB 9 KEANEKARAGAMAN MAHLUK HIDUP	107
A. Konsep Keanekaragaman Makhluk Hidup.....	107
B. Faktor Penyebab Terjadinya Keanekaragaman Makhluk Hidup	109
C. Keanekaragaman Ekosistem	111
D. Keanekaragaman Jenis.....	113
E. Keanekaragaman Genetik	125
BAB 10 KLASIFIKASI MAKHLUK HIDUP	129
A. Kingdom Archaeobacteria & Eubacteria	129
B. Kingdom Protista.....	132
C. Kingdom Fungi.....	134
D. Kingdom Plantae.....	139
E. Kingdom Animalia.....	141
DAFTAR PUSTAKA.....	146
BIOGRAFI PENULIS.....	148

BAB I

KONSEP DASAR BIOLOGI

Hingga saat ini, Bumi masih dianggap sebagai satu-satunya planet yang mendukung kehidupan. Hal ini disebabkan oleh keberadaan unsur-unsur penyusun kehidupan seperti air, udara, dan tanah yang mengandung berbagai elemen penting bagi makhluk hidup. Bumi dihuni oleh dua komponen utama, yaitu komponen biotik dan komponen abiotik. Komponen biotik mencakup berbagai organisme, mulai dari tingkat rendah hingga tinggi, yang hidup dalam suatu habitat dan saling berinteraksi baik dengan sesamanya maupun dengan lingkungan. Interaksi tersebut membentuk ekosistem, di mana setiap organisme berperan dalam proses memperoleh makanan, menghasilkan energi, tumbuh, berkembang biak, beradaptasi, dan bahkan berevolusi untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya.

Biologi merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari makhluk hidup serta segala aspek yang berkaitan dengan kehidupan. Secara etimologis, kata *biologi* berasal dari bahasa Yunani, yaitu *bios* yang berarti “hidup” dan *logos* yang berarti “ilmu” atau “pengetahuan”.

A. Biologi Sebagai Ilmu

Mempelajari biologi memberikan banyak manfaat bagi kehidupan manusia. Melalui biologi, kita dapat memahami diri sendiri sebagai makhluk hidup serta mengenal lingkungan di sekitar kita secara lebih mendalam. Ilmu biologi juga berperan penting dalam menemukan berbagai solusi terhadap permasalahan kehidupan, seperti terciptanya varietas hibrida unggul melalui persilangan tanaman, penemuan vaksin dan obat-obatan herbal, pengembangan teknologi baru di bidang medis dan kesehatan, serta peningkatan keanekaragaman

hayati yang mendukung ketahanan pangan. Semua pencapaian tersebut diperoleh melalui langkah-langkah ilmiah yang sistematis berdasarkan observasi dan percobaan, meskipun dalam beberapa kasus penemuan dapat terjadi secara kebetulan. Sebagai bagian dari ilmu pengetahuan (sains), biologi menekankan pentingnya proses observasi atau pengamatan terhadap objek-objek yang dikaji untuk memperoleh pengetahuan dan pemahaman yang mendalam.

Biologi sebagai bagian dari sains memiliki pendekatan tersendiri dalam menyelesaikan permasalahan dan menjawab pertanyaan-pertanyaan yang muncul dalam kehidupan. Pertanyaan-pertanyaan tersebut mendorong ilmuwan atau peneliti untuk melakukan serangkaian observasi yang cermat agar dapat menemukan jawaban yang tepat. Selama proses observasi, peneliti mengumpulkan data yang kemudian diolah, dianalisis, dan digeneralisasikan menjadi kesimpulan yang utuh. Namun sebelum kesimpulan tersebut ditetapkan, peneliti perlu mengujinya dengan teori, dalil, atau hukum yang berlaku, meskipun teori tersebut tidak selalu mutlak benar, karena bergantung pada fakta yang ditemukan di lapangan. Oleh karena itu, pendekatan saintifik atau metode ilmiah bersifat terbatas; metode ini hanya dapat menghasilkan penjelasan dan pemahaman yang bersifat praktis dan dapat diterapkan, bukan yang bersifat filosofis atau religius. Sebagai contoh, metode ilmiah tidak dapat menjawab pertanyaan seperti “Apakah setelah kematian ada kehidupan lagi?”, tetapi dapat menjawab pertanyaan seperti “Apa saja ciri-ciri makhluk hidup?”

Dalam mengkaji ilmu alam melalui pendekatan ilmiah, langkah utama yang harus dilakukan peneliti setelah mengamati fenomena dan fakta, menemukan permasalahan, mengajukan pertanyaan, mengumpulkan informasi, serta melakukan observasi adalah menyusun hipotesis. Hipotesis

merupakan jawaban sementara terhadap rumusan masalah penelitian yang dinyatakan dalam kalimat yang masih perlu diuji kebenarannya Terdapat dua cara utama dalam merumuskan hipotesis, yaitu induktif dan deduktif. Pemikiran induktif membangun generalisasi dari hal-hal yang bersifat spesifik. Contohnya, seorang peneliti dapat menyimpulkan: “Semua tanaman monokotil yang saya amati memiliki akar serabut.” Berdasarkan hasil observasi tersebut, peneliti kemudian dapat menguji hipotesisnya melalui percobaan atau pengamatan lebih lanjut.

Berdasarkan pengamatan tersebut, dapat digeneralisasikan bahwa “semua tanaman monokotil yang ada di dunia ini memiliki akar serabut.” Pernyataan ini dapat dirumuskan menjadi hipotesis dengan format “jika ... maka ...”, misalnya: “Jika semua tanaman monokotil yang saya amati memiliki akar serabut, maka semua tanaman monokotil yang ada di dunia ini memiliki akar serabut.” Peneliti yang menggunakan pola pemikiran induktif termasuk golongan empirisme, yaitu mereka yang cenderung memperoleh pengetahuan melalui pengamatan dan percobaan.

Sebaliknya, golongan rasionalisme menggunakan pola berpikir deduktif, di mana pengetahuan dikembangkan melalui nalar dan akal pikiran. Pendekatan deduktif membangun hal-hal yang bersifat spesifik dari premis yang bersifat umum. Contohnya, premis mayor: “Tanaman monokotil memiliki akar serabut” dan premis minor: “Jagung adalah tanaman monokotil.” Dari kedua premis ini, kesimpulan yang diperoleh adalah “Jagung memiliki akar serabut.”

Seperti telah disebutkan sebelumnya, semua hipotesis yang dirumuskan oleh peneliti harus dapat diuji. Untuk memperoleh jawaban dari hipotesis tersebut, peneliti perlu melakukan percobaan yang disusun secara cermat, teliti, dan terkendali. Misalnya, seorang peneliti ingin mengetahui

apakah intensitas cahaya mempengaruhi perkecambahan tanaman. Dalam percobaan ini, harus disiapkan biji sebagai kontrol (biji standar yang dikecambahkan seperti biasa tanpa perlakuan khusus) serta biji yang akan dikecambahkan pada intensitas cahaya yang berbeda-beda sebagai variabel bebas. Alat seperti counter dan penggaris digunakan untuk menghitung dan mengukur panjang biji yang berkecambah. Variabel terikat dalam percobaan ini adalah jumlah biji yang berkecambah dan panjang biji yang berkecambah, yang merespon terhadap perbedaan intensitas cahaya yang diberikan. Hasil pengukuran ini kemudian menghasilkan data kuantitatif, yaitu data yang diperoleh berdasarkan pengukuran numerik dalam satuan seperti cm atau mm.

Setelah data diperoleh, langkah selanjutnya adalah mengolah dan menganalisis data tersebut, kemudian membandingkannya dengan hasil yang diharapkan sesuai hipotesis yang telah dirumuskan sebelumnya. Jika terdapat ketidaksesuaian antara data yang dianalisis dengan hipotesis, sebaiknya hipotesis ditinjau ulang dan diuji terlebih dahulu menggunakan hipotesis alternatif. Namun, jika hasil data dari percobaan sesuai dengan hipotesis yang diharapkan, sebaiknya percobaan diulang untuk memastikan konsistensi hasil. Pengulangan ini penting karena keabsahan hipotesis harus dapat diuji melalui percobaan yang menghasilkan hasil serupa. Setelah percobaan berulang memberikan hasil yang konsisten, barulah teori dapat dibangun. Secara umum, teori adalah merupakan pemikiran rasional dan konsisten sehingga dapat digunakan untuk menjelaskan, meramalkan, dan mengendalikan fenomena. lebih lanjut, teori dapat diartikan sebagai sebuah konsep yang kuat yang dapat membantu peneliti untuk membuat prediksi tentang hal yang ditelitinya. Karena ilmu pengetahuan terus mengalami perkembangan, maka dapat memungkinkan ditemukannya fenomena-

fenomena atau fakta-fakta baru, sehingga teori tersebut masih bisa diperbaiki, diubah, atau malah digugurkan.

Berdasarkan uraian yang telah dijabarkan pada paragraf sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa biologi merupakan bagian dari ilmu pengetahuan alam yang bersifat objektif, logis, dan dapat diuji dengan tujuan untuk memahami prinsip dan kekuatan yang bekerja di alam semesta. Metode ilmiah menjadi pendekatan yang harus dilakukan supaya dapat menyusun ilmu pengetahuan. Tahapan-tahapan dalam metode ilmiah secara umum terdiri atas:

1. Observasi, yaitu suatu kegiatan atau usaha untuk mendapatkan dan mengumpulkan semua informasi, fakta, fenomena yang ditangkap oleh seluruh panca indera kita dalam rangka mendefinisikan masalah yang ingin dijelaskan atau dijawab.
2. Hipotesis, yaitu suatu kalimat pernyataan yang bersifat sementara, yang dapat dikemukakan setelah melakukan perbandingan antara realita yang ada dengan teori yang menjadi landasan dalam melakukan percobaan. Hipotesis baru dapat diterima atau ditolak berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan.
3. Percobaan/eksperimen, yaitu suatu kegiatan yang dilakukan oleh peneliti untuk menguji hipotesis. Melalui percobaan, peneliti dapat memperoleh hasil eksperimen berupa data yang selanjutnya data tersebut perlu diolah dan dianalisis untuk diuji kebenarannya sebelum diperoleh simpulan yang dapat menyatakan apakah hipotesis yang telah disusun sebelumnya dapat diterima atau ditolak.

Kesimpulan, pada tahapan ini, dapat dirumuskan pernyataan apakah hipotesis yang telah disusun sebelumnya didukung oleh data yang ada atau perlu dimofikasi, apabila

data tidak mendukung, dan perlu dilakukan modifikasi hipotesis, maka tahapan-tahapan sebelumnya perlu diulang kembali. Pernyataan yang dinyatakan dalam kesimpulan bisa saja dijadikan sebagai rekomendasi, tetapi penelitian perlu dilakukan secara berulang dengan prosedur yang sama supaya dapat terlihat konsistensinya, apabila hasilnya tetap konsisten, maka kebenaran suatu pengetahuan bisa dicapai dan pada tahapan tersebut teori bisa dibangun.

B. Cabang Ilmu Biologi

Biologi memiliki objek kajian terhadap makhluk hidup yang sangat luas sekali, sehingga biologi juga mengalami perkembangan menjadi beberapa cabang ilmu diantaranya sebagai berikut.

1. Botani, botani adalah cabang ilmu biologi yang khusus mempelajari tentang kehidupan tumbuhan
2. Zoologi, yaitu cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang kehidupan hewan.
3. Anatomi, yaitu cabang ilmu biologi yang khusus mempelajari tentang susunan tubuh makhluk hidup
4. Taksonomi / Sistematika, yaitu ilmu yang mempelajari tentang sistematika penggolongan makhluk hidup.
5. Morfologi, yaitu cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang bentuk luar atau ciri-ciri luar bentuk tubuh makhluk hidup.
6. Ekologi, yaitu ilmu yang mempelajari tentang hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya
7. Genetika, yaitu ilmu yang mempelajari tentang pewarisan sifat dari induk kepada turunannya, tidak hanya itu saja, genetika juga mempelajari tentang

bagaimana sintesis dan regulasi pengaturan ekspresi gen sehingga ada sifat yang muncul dan teramati pada turunannya, namun ada juga yang tak nampak pada turunannya.

8. Fisiologi, yaitu ilmu yang mempelajari tentang fungsi faal tubuh pada makhluk hidup
9. Mikrobiologi, yaitu ilmu yang mempelajari tentang mikroorganisme atau mikroba.
10. Virologi, yaitu cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang virus.
11. Mikologi, yaitu cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang jamur atau fungi.
12. Parasitologi, merupakan cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang parasit.
13. Etologi, yaitu cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang tingkah laku hewan.
14. Entomologi, yaitu cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang serangga.
15. Palaentologi, yaitu cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang kehidupan di masa lampau (di masa purba) yang ditunjukkan dengan adanya fosil.
16. Biokimia, ilmu yang mempelajari tentang proses-proses kimia yang ada di dalam tubuh dan yang berhubungan dengan organisme hidup.

BAB II

ORGANISASI MATERI PENYUSUN KEHIDUPAN

Organisasi materi penyusun kehidupan merupakan sebuah bahasan mengenai interaksi antar komponen kimia hingga membentuk organisme hidup. Untuk memahami proses interaksi tersebut maka perlu pemahaman mengenai struktur dan fungsi dari seluruh komponen kimia, baik komponen mikro maupun komponen makro.

Organisme hidup tentunya memiliki ciri khas yang berbeda dengan benda mati diantaranya adalah kemampuan untuk tumbuh, berkembang, bereproduksi, beradaptasi, memberikan respon dan menurunkan sifat. Seluruh proses kehidupan ini terjadi pada tingkat sel sebagai unit dasar struktural dan fungsional kehidupan hingga organismenya baik yang terdiri dari satu sel maupun banyak sel.

Pembahasan mengenai isi sel dikenal dengan struktural sel. Sedangkan pembahasan mengenai tata cara bereproduksi, metabolisme untuk tumbuh dan berkembang, kemampuan merespon dan beradaptasi dengan lingkungan merupakan fungsional sel. mencakup seluruh hal yang terkait dengan isi sel tersebut.

Untuk memahami seluruh organisasi materi kehidupan maka diperlukan pengetahuan mengenai konsep organisasi materi. Organisasi materi ini dikenal dengan hierarki organisasi ekologi yang menyusun mulai dari tingkat sel hingga biosfer (Odum & Barret, 1971)

Pemahaman tentang organisasi materi memiliki peran penting dalam memahami bagaimana perubahan pada tingkat molekuler atau seluler dapat memberikan pengaruh bagi organisme dan ekosistem secara menyeluruh. Pemahaman mengenai cara organisme berintegrasi dengan berbagai tingkat

yang lebih besar hingga pada skala global merupakan kunci utama dalam memahami kehidupan.

A. Kimia Kehidupan

Kimia kehidupan adalah sebuah cabang ilmu yang mempelajari interaksi materi kimia dalam konteks biologi. Keilmuan ini menjadi landasan kita untuk memahami bagaimana materi kimia dalam bentuk atom dan molekul menjadi terorganisasi membentuk struktur biologi dan memfasilitasi seluruh proses penting dalam mendukung kehidupan. Dengan kata lain, pemahaman mengenai kimia kehidupan menjadi sangat penting dalam menjelaskan berbagai aspek kehidupan dan ekosistem melalui berbagai reaksi kimia yang esensial.

Komponen dasar kimia kehidupan adalah atom dan molekul yang selanjutnya memiliki peran penting dalam menjelaskan berbagai proses biologis. Tentunya pengertian atom dan molekul dalam konteks biologi maupun konteks kimia tidaklah berbeda.

1. Atom merupakan unit dasar dari materi atau elemen yang terdiri dari inti (*nucleus*) dan dikelilingi oleh elektron. Dalam inti atom terdapat proton (bermuatan positif) dan neutron (bermuatan netral). Setiap atom memiliki jumlah proton, neutron dan elektron yang berbeda sehingga masing-masing atom memiliki nomor atom dan nomor masa. Demikian pula dengan sifat dari atom tentunya memiliki kekhasan masing-masing yang kemudian akan menjadi bahan dasar untuk pembentukan molekul biologi.
2. Molekul adalah perpaduan dari atom-atom baik sejenis maupun berbeda jenis yang terikat oleh ikatan kimia. Dalam konsep biologi, jenis molekul yang paling

penting diantaranya adalah protein, enzim, asam nukleat (DNA dan RNA), karbohidrat, dan lipid.

3. Protein merupakan polimer panjang atau rantai panjang yang terdiri dari asam amino yang diikat dengan ikatan peptide. Setiap protein memiliki susunan asam amino yang unik hingga menentukan struktur tiga dimensinya. Dalam kehidupan kita sehari-hari, protein memiliki banyak peran mulai dari memfasilitasi reaksi kimia didalam sel, struktur dalam jaringan kolagen dan keratin, transporter molekul dan komponen sistem kekebalan tubuh. Salah satu protein yang berfungsi menjadi katalis dalam mempercepat reaksi disebut dengan enzim.
4. DNA/RNA merupakan molekul yang terdiri dari dua rantai panjang nukleotida yang berikatan melalui ikatan hidrogen dan membentuk struktur helix ganda yang mengandung informasi genetik. Komponan dasar DNA/RNA ini terdiri dari gula (deoksiribosa pada DNA dan ribosa pada RNA), gugus fosfat dan basa nitrogen (adenin, timin, sitosin, guanin pada DNA; adenin, urasil, sitosin, guanin pada RNA). DNA memiliki fungsi sebagai informasi genetik yang mendeterminasi perwarisan sifat dan struktur organisme, sedangkan RNA terlibat dalam transkripsi dan translasi genetik yang menghasilkan protein.
5. Karbohidrat merupakan molekul yang terdiri dari gugus- gugus karbon, hidrogen dan oksigen yang merupakan sumber utama energi bagi organisme. Adapun rantai dari senyawa dapat berupa rantai pendek untuk gula sederhana (glukosa, fruktosa) dan rantai Panjang untuk polisakarida seperti selulosa dan amilum.

6. Lipid merupakan kelompok senyawa seperti lemak, minyak, fosfolipid dan steroid. Lipid tersusun dari rantai asam lemak yang terikat pada gugus gliserol dalam kasus trigliserida atau rantai asam lemak yang terikat pada gugus fosfat dalam kasus fosfolipid. Fungsi lipid adalah untuk menyimpan energi dan membentuk membran sel yang semipermeabel serta molekul-molekul penting lainnya.

B. Hirarki Organisasi Kehidupan

Organisasi kehidupan dimulai dengan sel hingga biosfer. Tentunya pada organisasi kehidupan ada ciri-ciri hidup diantaranya adalah adanya pertumbuhan, perkembangan, bereproduksi, dan beradaptasi. Untuk memahami hirarki

BAB III

STRUKTUR DAN FUNGSI SEL

A. Pengertian Sel

Biologi sel adalah cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang sel, sel sendiri adalah kesatuan struktural dan fungsional makhluk hidup.

Sel berasal dari kata latin *Cella* yang berarti ruangan kecil. Ukuran sel bermacam-macam dan bentuk sel juga bermacam-macam. Meskipun ukuran sel sangat kecil, strukturnya sangat rumit dan masing-masing bagian sel memiliki fungsi khusus, misalnya Mitokondria yang terdapat di dalam sel berfungsi sebagai penghasil energi, sedangkan Lisosom berfungsi sebagai pencerna.

Sel merupakan unit terkecil dari makhluk hidup, yang dapat melaksanakan kehidupan. Sel disebut sebagai unit terkecil karena sudah tidak bisa dibagi-bagi lagi menjadi bagian yang lebih kecil yang berdiri sendiri. Sel dapat melakukan proses kehidupan seperti melakukan respirasi, perombakan, penyusunan, reproduksi melalui pembelahan sel, dan terhadap rangsangan. Perkembangbiakan di lakukan melalui pembelahan sel, pembelahan sel dilakukan baik oleh organisme bersel satu mengadakan pembelahan secara langsung sedangkan sel-sel pada organisme bersel banyak mengalami pembelahan secara mitosis.

Sel mengandung materi genetik, yaitu materi penentuan sifat-sifat makhluk hidup dengan adanya materi genetik, sifat makhluk hidup dapat di wariskan kepada keturunannya.

B. Bentuk dan Ukuran Sel

Bentuk dan ukuran sel bervariasi tergantung pada fungsinya. Sel-sel kulit bentuknya pipih, sel urat syaraf berbentuk bulat panjang dan sel darah seperti discus (piringan).

Ukuran sel juga bervariasi, pada penampung yang melintangnya sel berukuran 0,01-0,1 mm, panjang sel ada yang mencapai 20 cm. Sel yang berupa telur ada yang bervolume 7 liter, yaitu telur burung Aepyornis dari Madagaskar.

Tumbuhan	Hewan
Dinding sel ada	Dinding sel tidak ada
Vakuola ada	Vakuola Ada (kecil)
Kroloplas ada	Kloroplas tidak ada
Sentrosom dan sentriol tidak ada	Terdapat sentrosom dan sentriol

1. Organel Sel

a. Bagian bagian Sel

1) Dinding Sel

Dinding sel berfungsi sebagai pelindung dan pemberi bentuk yang tetap. pada dinding sel terdapat pori-pori sebagai jalan keluar masuknya molekul-molekul.

2) Membran plasma

Membran sel atau membran plasma tersusun atas molekul lemak dan protein. Fungsinya sebagai pelindung molekuler sel terhadap lingkungan di sekitarnya, dengan jalan mengatur lalu lintas molekul dan ion-ion dari dan ke dalam sel.

3) Sitoplasma

Sitoplasma tersusun atas air, protein, lemak, mineral, dan enzim-enzim di pergunakan untuk mencerna makanan secara ekstraseluler dan untuk melakukan proses metabolisme sel. Metabolisme terdiri dari proses penyusunan (Anabolisme) dan penguraian (Katabolisme) zat-zat.

4) Mesosom

Pada tempat tertentu, membran plasma melekok ke dalam membentuk organel yang disebut mesosom. Mesosom berfungsi sebagai penghasil energi. Biasanya mesosom terletak dekat dinding sel yang baru terbentuk pada saat pembelahan biner sel bakteri. Pada membran mesosom terdapat enzim-enzim pernapasan yang berperan dalam reaksi-reaksi oksidasi untuk meng

5) Ribosom

Ribosom adalah organel sel yang sangat penting karena berfungsi sebagai tempat sintesis protein. Ribosom membaca informasi genetik dari RNA pembawa pesan (mRNA) dan mengubahnya menjadi rantai asam amino yang membentuk protein

6) DNA

Asam Deoksiribonukleat (*Deoxyribonucleic Acid*, di singkat DNA) merupakan persenyawaan yang tersusun atas gula Deoksiribosa, fosfat, dan basa-basa nitrogen. DNA berfungsi sebagai pembawa informasi genetik, yakni sifat-sifat yang harus di wariskan kepada keturunannya.

7) RNA

Asam Ribonukleat (*Ribonucleic Acid*, di singkat RNA) merupakan persenyawaan hasil transkripsi DNA. Jadi bagian tertentu DNA melakukan transkripsi (mengkopi

diri) membentuk RNA. RNA membawa kode-kode genetik sesuai dengan pesanan DNA. selanjutnya, kode-kode genetik itu akan di terjemahkan dalam bentuk urutan asam amino dalam proses sintesis protein.

2. Struktur Sel Eukariotik

Perbedaan pokok antara sel prokariotik dan eukariotik adalah sel eukariotik memiliki membran inti, sedangkan sel prokariotik tidak. Selain itu sel eukariotik memiliki sistem endomembran, yakni memiliki organel- organel bermembran seperti retikulum endoplasma, kompleks Golgi, mitokondria, dan lisosom. Sel eukariotik juga memiliki sentriol, sedangkan sel prokariotik tidak, adapun sel eukariotik meliputi sebagai berikut:

a. Membran Plasma

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

b. Sitoplasma

Sitoplasma merupakan cairan sel yang berada di luar inti, terdiri atas air dan zat-zat yang terlarut serta berbagai macam organel sel hidup.

c. Nukleus

Inti sel atau nukleus merupakan organel terbesar yang berada di dalam sel. Nukleus berdiameter 10 mikrometer. Nukleus biasanya terletak di tengah sel dan berbentuk bulat dan oval.

d. Sentriol

Sentriol merupakan organel yang dapat dilihat ketika

sel mengadakan pembelahan. Pada fase tertentu dalam daur hidupnya sentriol memiliki silia atau flagela. Sentriol hanya di jumpai pada sel hewan, sedangkan pada sel tumbuhan tidak.

e. Retikulum Endoplasma

Retikulum berasal dari kata Reticular yang berarti anyaman benang atau jala, karena letaknya memusat pada bagian dalam sitoplasma (Endoplasma), maka disebut sebagai *Eticulum Endoplasma* (disingkat RE). RE hanya dijumpai di dalam sel eukariotik, baik sel hewan maupun sel tumbuhan.

f. Ribosom

Ribosom tersusun atas RNA-ribosom (RNA-r) dan protein. Ribosom tidak memiliki membran.

g. Kompleks golgi

Kompleks golgi sering disebut golgi saja. Pada sel tumbuhan, kompleks golgi disebut *Diktiosom*. Organel ini terletak di antara RE dan membran plasma.

h. Lisosom

Lisosom (lyso= pencernaan, soma= tubuh) merupakan membran berbentuk kantong kecil yang berisi enzim hidrolitik yang disebut lisozim. Enzim ini berfungsi dalam pencernaan intrasel, yaitu mencerna zat-zat yang masuk dalam sel.

3. Reproduksi Sel

Inti sel memegang peranan penting dalam proses pembelahan sel atau reproduksi sel, sitoplasma memegang peranan penting dalam metabolisme dan membran sel dalam iritabilitas. Namun ketiganya merupakan satu satuan kehidupan yang utuh. Metabolisme menyebabkan protoplasma sel menjadi semakin besar sampai batas tertentu. Apabila

sudah sampai batas maksimum, maka sel akan membelah menjadi dua sel baru atau akan mati.

Terdapat tiga macam pembelahan sel:

1. Pembelahan Prokaryotik.

Hanya terjadi pada sel prokaryotik. Saat akan membelah khromosom menempel pada membran sel, kemudian khromosom membelah menjadi dua pasang. Titik tempat menempelnya kromosom pada membran melebar dan terus melebar, kromosom terpisah, terbentuk membran plasma baru dan akhirnya sel menjadi dua.

2. Mitosis atau Aequasi.

Disebut juga pembelahan tidak langsung, karena harus melalui beberapa tahap atau fase. Pembelahan semacam ini terjadi ada makhluk hidup yang lebih sempurna, sedangkan pada tumbuhan umumnya terjadi pada titik tumbuh baik di ujung batang maupun di ujung akar.

3. Meiosis atau pembelahan Reduksi.

Adalah suatu peristiwa reproduksi sel yang menghasilkan sel-sel anak yang sifatnya haploid. Pembelahan meiosis disebut juga pembelahan reduksi karena terjadi reduksi jumlah kromosom. Pembelahan Meiosis terdapat pada organisme tingkat tinggi sewaktu menghasilkan sel-sel kelamin, baik berupa sel kelamin betina (Ovum) maupun sel kelamin jantan (Spermatozoid).

BAB 4

STRUKTUR ORGANISASI TUBUH

A. Struktur Dan Organisasi Tubuh Tumbuhan

1. Macam–Macam Jaringan Tumbuhan

Jaringan menurut fungsinya di bedakan menjadi dua yaitu jaringan muda atau meristem dan jaringan dewasa atau permanen. Jaringan terdiri dari jaringan muda atau meristem, jaringan dasar atau parenkim, sklerenkim, xilem, dan floem.

a. Jaringan Meristem

Jaringan meristem dibagi menjadi tiga yaitu meristem apikal yang terletak di ujung batang dan akar, meristem lateral yang terletak di kambium gabus dan meristem interkalar yang terletak diantara satu dan lainnya. Jaringan meristem adalah jaringan muda yang terdiri atas sel-sel yang mempunyai sifat membelah diri. Fungsinya untuk mitosis, dimana sel-selnya kecil, berdinding tipis tanpa vakuola tengah di dalamnya. Jaringan muda yang sel-selnya selalu membelah atau bersifat meristematik. Fungsi sel meristematik adalah mitosis. Bentuk dan ukuran sama relatif, kaya protoplasma, umumnya rongga sel yang kecil.

Berdasarkan letaknya jaringan meristem dibedakan menjadi 3 yaitu:

- 1) Meristem lateral (meristem samping) yang terdapat pada batang tepatnya di cambium atau cambium gabus.
- 2) Meristem interkalar (meristem antara) yang terdapat di antara jaringan dewasa, misalnya pangkal ruas batang.
- 3) Meristem apical (Meristem ujung) yang terdapat diujung batang atau ujung akar.

b. Jaringan Permanen

Jaringan permanen di bagi menjadi 5 yaitu jaringan epidermis, jaringan parenkim, jaringan penyokong atau penguat, jaringan pengangkut dan jaringan gabus. Jaringan permanen merupakan jaringan yang telah mengalami diferensiasi. Umumnya jaringan dewasa tidak membelah diri, bentuknya pun relatif permanen serta rongga selnya besar.

2. Jaringan Epidermis

Jaringan epidermis adalah jaringan yang letaknya paling luar. Jaringan epidermis tidak mengandung klorofil kecuali pada epidermis tumbuhan Bryophyta dan Pteridophyta serta sekitar epidermis pada sel penutup stomata. Bentuk sel jaringan epidermis seperti balok. Pada tumbuhan yang sudah mengalami pertumbuhan sekunder, akar dan batangnya sudah tidak lagi memiliki jaringan epidermis.

Fungsi jaringan epidermis antara lain:

- a. Pelindung jaringan didalamnya
- b. Tidak dapat ditembus air dari luar, kecuali akar yang muda, bisa masuk air karena osmosis
- c. Peresap air dan mineral pada akar yang muda. Oleh karena itu akar- akar yang muda epidermisnya diperluas dengan tonjolan-tonjolan yang disebut bulu akar.
- d. Untuk penguapan air yang berlebihan. Bisa melalui evaporasi atau gutasi
- e. Tempat difusi O_2 dan CO_2 sewaktu respirasi, terjadi pada epidermis yang permukaannya bergabus.

3. Jaringan Parenkim

Sel parenkim terdapat diberbagai sebagian tumbuhan, bentuknya besar-besar dan berdinding tipis. Fungsi utama sel parenkim sebagai tempat cadangan makanan serta sebagai

jaringan penyokong. Parenkim biasanya memiliki dimensi panjang dan lebar yang sama dan protoplas aktif dibungkus oleh dinding sel primer dengan selulose yang tipis. Nama lainnya adalah jaringan dasar.

Jaringan parenkim di jumpai pada kulit batang, kulit akar, daging, daun, daging buah dan endosperm. Sel parenkim yang mengandung klorofil disebut klorenkim, yang mengandung rongga-rongga udara disebut aerenkim. Penyimpanan cadangan makanan dan air oleh tubuh tumbuhan dilakukan oleh jaringan parenkim. Berdasarkan fungsinya jaringan parenkim dibedakan menjadi beberapa macam antara lain:

4. Jaringan Penyokong

Jaringan penyokong merupakan jaringan yang berfungsi untuk menyokong agar tanaman dapat berdiri dengan kokoh dan kuat. Jaringan penyokong dibagi menjadi dua yaitu jaringan kolenkim dan sklerenkim. Jaringan kolenkim adalah jaringan penyokong yang masih muda, jaringan yang berdinding tebal terutama pada sudut-sudutnya. Jaringan sklerenkim adalah jaringan yang terdiri dari sel-sel yang sudah mati, dinding sel yang tidak elastis tetapi kuat. Jaringan sklerenkim merupakan sel penunjang yang lebih umum, dinding sel sangat tebal. Sklerenkim merupakan komponen yang sangat penting pada penutup luar biji dan buah keras.

Fungsinya untuk menguatkan bagian tubuh tumbuhan. Jaringan penyokong terbagi atas 2 yaitu:

a. Jaringan Kolenkim

Kolenkim terdiri dari sel – sel yang serupa dengan parenkim tapi dengan penebalan pada dinding sel primer disudut sudut sel tidak menyeluruh. Umumnya terletak pada bagian batang dan beberapa bagian daun. Karena kolenkim jarang menghasilkan dinding sel

sekunder, jaringan ini tampak sebagai sel-sel dengan penebalan dinding sel yang ekstensif

b. Jaringan Sklerenkim

Sklerenkim adalah jaringan pendukung pada tanaman. Penebalan lignin terletak pada dinding sel primer dan sekunder dan dinding menjadi sangat tebal. Hanya ada sedikit ruang untuk protoplas yang nantinya hilang jika sel dewasa. Sel-sel yang terdiri dari jaringan sklerenkim mungkin terbagi menjadi 2 tipe yaitu serat (fibre) atau sklereid. Serat atau fibre biasanya memanjang dengan dinding berujung meruncing pada penampang membujur sedangkan sklereid atau sel batu.

Batok kelapa adalah contoh yang baik dari bagian tubuh tumbuhan yang mengandung serabut dan sklereid. Terdapat pada bagian keras buah dan biji. Bagian bergerigi pada buah pir disebabkan oleh sel-sel batu. Sebagian besar dinding sel jaringan kolenkim terdiri dari senyawa selulosa merupakan jaringan penguat pada organ tubuh muda atau bagian tubuh tumbuhan yang lunak. Selain mengandung selulosa dinding sel, jaringan sklerenkim mengandung senyawa lignin, sehingga sel-selnya menjadi kuat dan keras. Sklerenkim terdiri dari dua macam yaitu serabut/serat dan sklereid.

5. Jaringan Pengangkut

Jaringan pengangkut adalah jaringan yang berguna untuk transportasi hasil asimilasi dari daun ke seluruh bagian tumbuhan dan pengangkutan air serta garam-garam mineral. Jaringan pengangkut dibagi menjadi dua yaitu xilem dan floem.

Xilem merupakan jaringan kompleks yang terdiri dari sel mati maupun hidup. Floem merupakan jaringan kompleks yang terdiri dari berbagai unsur dengan tipe berbeda yaitu

pembuluh lapisan, parenkim serabut, dan kloroid. Xilem merupakan jaringan campuran yang terdiri atas beberapa sel yang mempunyai tipe tertentu yang paling khas. Xilem mempunyai dinding sel yang tebal. Dindingnya menebal dalam pola-pola berkas.

Xilem dan floem merupakan alat transportasi zat-zat pada tumbuhan berpembuluh. Xilem bertugas membawa air dan zat-zat terlarut dari akar ke daun untuk kebutuhan proses fotosintesis. Sedangkan floem berfungsi sebagai alat transportasi bagi zat-zat hasil fotosintesis dari daun ke seluruh tubuh tumbuhan.

6. Jaringan gabus

Jaringan gabus merupakan jaringan yang tersusun oleh sel-sel parenkim gabus mengandung suberin dan kutin, Jaringan ini lebih kuat daripada epidermis. Terdapat di bagian tepi alat-alat tumbuhan, Fungsinya adalah menggantikan jaringan epidermis sebagai pelindung jaringan dibawahnya apabila jaringan epidermis telah rusak atau mati.

Jaringan gabus dibedakan menjadi tiga yaitu:

- a. Eksodermis jaringan ini terletak di luar dan mengandung suberin pengganti epidermis.
- b. Endodermis pada bagian endodermis yang masih muda, dinding selnya terdiri atas selulosa dan bersifat elastis, sedangkan endodermis yang sudah tua atau dewasa pada dinding selnya terjadi penebalan- penebalan berupa titik-titik atau pita dari zat kayu dan mengandung suberin serta kutin yang disebut titik atau pita kaspari.
- c. Periderm (Kulit Gabus) dibagi menjadi tiga bagian yaitu
 - 1) Felogen (Kambium Gabus)

Felogen merupakan kambium gabus yang merupakan lapisan sel yang meristematis. Felogen dapat terbentuk dari berbagai jaringan hidup, misalnya epidermis, parenkim korteks yang sel-selnya dapat berubah menjadi meristematik. Felogen ke arah luar membentuk gabus (Felem) dan ke arah dalam membentuk parenkim (Feloderm).

2) Felem (Gabus)

Felem merupakan lapisan gabus sebagai produk dari felogen yang terbentuk ke arah luar.

3) Feloderm (Parenkim Gabus)

Jaringan ini dapat dikatakan hampir homogen dengan parenkim korteks yang terbentuk ke arah dalam sehingga hanya terdapat di lapisan paling dalam. Dalam hal ini, pada jaringan gabus batang terdapat lentisel.

B. Organ Tumbuhan

Organ tumbuhan biji yang penting ada 3 yakni Akar (Radix) batang (Caulis) dan daun (Follium). Sedangkan bagian lain dari ketiga organ tersebut adalah modifikasinya, contohnya

1. umbi modifikasi akar
2. bunga modifikasi dari ranting dan daun.
3. buah (bunga yang diserbuki)membentuk organ reproduktivum
4. biji ada di buah

1. Akar

Asal akar adalah dari akar lembaga (Radix). Pada Dikotil, akar lembaga terus tumbuh sehingga membentuk akar tunggang. Pada Monokotil, akar lembaga mati, kemudian pada

pangkal batang akan tumbuh akar-akar yang memiliki ukuran hampir sama sehingga membentuk akar serabut. Akar monokotil dan dikotil ujungnya di lindungi oleh tudung akar atau kaliptra, yang fungsinya melindungi ujung akar sewaktu menembus tanah, sel-sel kaliptra ada yang mengandung butir-butir amylum, di namakan kolumela. Fungsi Akar adalah

- a. Untuk menambatkan tubuh tumbuhan pada tanah
- b. Dapat berfungsi untuk menyimpan cadangan makanan
- c. Menyerap air dan garam-garam mineral terlarut

Jaringan	Letak	Fungsi
Epidermis atau eksodermis	Bagian terluar akar.	Jalan masuk air dan garam mineral.
Korteks	Daerah di sebelah dalam epidermis	Cadangan makanan.
Endodermis	Lapisan sebelah dalam korteks dan di luar perisikel	Mengatur masuknya air tanah ke dalam pembuluh. Menyimpan zat makanan.
Perisikel	Sebelah dalam lapisan endodermis.	Membentuk cabang akar dan kambium gabus.

2. Batang

Terdapat perbedaan antara batang dikotil dan monokotil dalam susunan anatominya. Terlihat berkas pengangkut pada Dikotil melingkar teratur karena berkambium bertipe kolateral terbuka, sedang pada monokotil tersebar karena tidak berkambium dan tipe berkas pengangkutnya

Kolateral tertutup. Pada batang dikotil terdapat lapisan- lapisan dari luar ke dalam.

Pada tumbuhan dikotil, berkayu keras dan hidupnya menahun. Pertumbuhan menebal sekunder tidak berlangsung terus-menerus sehingga pada batang tampak berlapis-lapis, setiap lapis menunjukkan aktivitas pertumbuhan selama satu tahun. Lapisan-lapisan itu membentuk lingkaran yang di namakan Lingkaran Tahun.

Batang Monokotil pada batang Monokotil, epidermis terdiri dari satu lapis sel, batas antara korteks dan stele umumnya tidak jelas. Pada stele monokotil terdapat ikatan pembuluh yang menyebar dan bertipe kolateral tertutup yang artinya di antara xilem dan floem tidak ditemukan kambium. Tidak adanya kambium pada Monokotil menyebabkan batang Monokotil tidak dapat tumbuh membesar, dengan perkataan lain tidak terjadi pertumbuhan menebal sekunder. Meskipun demikian, ada Monokotil yang dapat mengadakan pertumbuhan menebal sekunder, misalnya pada pohon Hanjuang (*Cordyline sp*) dan pohon Nenas seberang (*Agave sp*).

3. DAUN

Daun merupakan modifikasi dari batang, merupakan bagian tubuh tumbuhan yang paling banyak mengandung klorofil sehingga kegiatan fotosintesis paling banyak berlangsung di daun.

Anatomi pada daun terdiri atas:

- a. Epidermis atas - Epidermis bawah (dengan stomata)
Epidermis merupakan lapisan terluar daun, ada epidermis atas dan epidermis bawah, untuk mencegah penguapan yang terlalu besar, lapisan epidermis dilapisi oleh lapisan kutikula. Pada epidermis terdapat stoma/mulut daun, stoma berguna untuk tempat

berlangsungnya pertukaran gas dari dan ke luar tubuh tumbuhan.

- b. Parenkim Palisade (jaringan tiang/pagar)
Mengandung kloroplast, sel-selnya rapat, jaringan palisade memang yang digunakan dalam fotosintesis.
- c. Jaringan pagar Parenkim spons (Jaringan bunga karang)
Jaringan bunga karang sel-selnya agak renggang, sehingga masih terdapat ruang-ruang antar sel. Kegiatan fotosintesis lebih aktif pada jaringan pagar karena kloroplasnya lebih banyak daripada jaringan bunga karang.

C. Struktur dan Organisasi Tubuh Hewan

Ada 3 lapisan lembaga yang merupakan bakal dari pembentukan jaringan atau organ-organ dewasa yaitu:

- 1. Lapisan lembaga ektoderm, lapisan ini akan menurunkan antara lain: kulit dan sistem saraf.
- 2. Lapisan lembaga mesoderm, antara lain akan membentuk otot, rangka, ekskretom, jantung dengan pembuluh darahnya, serta organ-organ genitalia jaringan ikat.
- 3. Lapisan lembaga endoderm, lapisan ini terutama akan menjadi saluran pencernaan dengan kelenjar pencernaannya, paru-paru dan kantung air seni.

1. Jaringan Pada Hewan

Sel-sel merupakan unit terkecil baik struktur maupun fungsional. Sel-sel dengan struktur dan fungsi yang sama akan membentuk jaringan. Beberapa jaringan akan membentuk organ, sedangkan beberapa organ melakukan suatu aktivitas (peranan) secara bersama-sama akan membentuk sistem.

Dalam tubuh hewan kita dapat mengenali 4 macam jaringan utama, yaitu:

a. Jaringan Epitel

Ciri jaringan ini adalah bahwa sel-selnya tersusun sangat rapat, sedikit substansi interseluler dan selalu berbatasan dengan rongga tubuh atau menutupi permukaan tubuh. Jaringan ikat

Disebut juga jaringan menyokong, karena selain berfungsi mengikat, atau menghubungkan satu jaringan dengan jaringan yang lain, juga menyokong fungsi organ-organ tertentu. Macam-macam jaringan ikat antara lain:

- 1) Jaringan ikat kendur atau longgar selain mempunyai banyak macam elemen seluler, juga mengandung serabut-serabut kolagen, retikulum dan elastin, contohnya paa bagian sub makosa saluran pencernaan.
- 2) Jaringan ikat padat atau kencang terutama dibangun oleh serabut kolagen dan fibroblast.
- 3) Jaringan lemak (Odiposum) dibangun oleh sel-sel lemak sebagai cadangan makanan.
- 4) Jaringan rawan sel-selnya disebut kondrosit, yang muda disebut kondroblast, yang mengumpul disebut kelompok kelenjar isogen. Macamnya rawan hyalin, rawan elastin dan rawan serabut.
- 5) Jaringan tulang matriksnya keras karena mengandung endapan garam kalsium fosfat, sel tulang disebut *osteosit* (tua) atau *osteoblast* (muda). Kita mengenal: tulang karang (terdapat pada tulang-tulang yang pipih), tulang kompak, sel-selnya tersusun dalam lamela havers, yang mengelilingi saluran havers.

b. Jaringan Otot

Berfungsi untuk pergerakan bersama rangka, elemen kontraktilnya disebut miofibril yang terbenam dalam sarkoplasma (Sitoplasma dalam sel otot).

Macam-macam jaringan otot:

1) Otot polos

Mempunyai miofibril yang homogen merupakan otot tak sadar, terdapat pada dinding saluran pencernaan dan dinding pembuluh darah.

2) Otot bergaris melintang (Otot lurik)

Mempunyai miofibril yang heterogen merupakan otot sadar, serabut ototnya mempunyai inti lebih dari satu yang terletak dipinggir karena melekat pada rangka, sering juga disebut rangka otot.

3) Otot jantung

Meskipun mempunyai miofibril yang heterogen tetapi tergolong dalam otot tak sadar, serabut-serabut ototnya dapat bercabang, inti satu terletak ditengah, selain itu mempunyai keping-keping interkalar.

c. Jaringan Saraf

Fungsinya untuk mengantarkan impuls bila ada rangsang. Elemen seluler yang membangunnya disebut sel saraf atau neuron. Neuron atau sel saraf mempunyai bagian-bagian berikut:

1) Badan sel saraf juga disebut perikarion.

2) Dendrit, merupakan uluran-uluran sitoplasma yang pendek, jumlahnya banyak.

3) Akson, uluran sitoplasma ini tunggal dan dapat sangat panjang.

Akson saraf ada yang terbungkus oleh seludang yaitu

disebut lapisan myelin (sebagai pelindung) seludang schwan. Letak badan sel saraf mengumpul pada pusat saraf (otak dan umsum tulang belakang), badan sel yang terletak diluar pusat saraf disebut ganglion. Hubungan antara sel saraf yang satu dengan sel saraf yang lain berlangsung melalui sinapsis

2. Organisasi Tubuh Manusia

Tubuh hewan terdiri dari 10 sistem yaitu sistem rangka, sistem otot, sistem integumen, sistem pencernaan, sistem respirasi, sistem ekskresi, sistem sirkulasi, sistem saraf, sistem perkembangbiakan, dan sistem endokrin. Dimana semua sistem tersebut bekerja saling ketergantungan.

a. Sistem Rangka

Fungsi rangka untuk memperkuat serta melindungi bagian-bagian yang lemah dari tubuh. Pada invertebrata, mempunyai skelet luar atau eksoskelet, seperti siput misalnya. Pada invertebrata secara garis besar skeletnya dapat dibagi:

- 1) Skelet Aksial meliputi ruas-ruas tulang belakang dan tengkorak
- 2) Skelet Apendikular meliputi gelang bahu (Pektoral) dengan skelet anggota depan dan gelang pinggul dengan skelet anggota belakang.

b. Sistem Otot

Otot rangka ibangun oleh serabut-serabut yang kedua ujungnya melekat pada tulang. Bagian tengah otot yang menggelembung berbentuk gelondong disebut perut atau gester. Bagian urat yang melekat pada tulang yang relatif tidak bergerak waktu kontraksi disebut origo dan ujung lain disebut insertio. Ada pasangan otot yang bekerja saling membantu disebut sinergis dan yang kerjanya berlawanan disebut antagonis.

c. sistem Integumen (kulit)

Fungsi kulit dapat bermacam-macam yaitu sebagai pelindung, eksteroreseptor, osmoregulator, termoregulator, sebagai alat pernapasan, sampai sebagai alat gerak dan tempat cadangan makanan. Secara umum kulit terdiri dari lapisan epidermis, dan lapisan dermis yang mengandung pembuluh darah, akhisan dan badan-badan saraf (badan krause untuk rasa dingin, badan rufini untuk rasa panas). Kulit mempunyai derivat-derivat seperti: rambut, bulu, kelenjar, kuku, sisik dan lainnya.

d. Sistem Pencernaan

Pada hewan invertebrata pembagian makanan di lakukan dengan cara yang sangat sederhana, seperti pada amoeba dengan vakuola makanan, pada planaria dengan gastrovaskuler. Pada hewan vertebrata saluran pencernaan di bangun oleh:

Mulut – Pharynx – Oesophagus – Lambung – Usus Halus (Duodenum, Yeyunum, Uleum) – Usus besar (Colon) – Rectum dan Anus. Selain itu, di lengkapi oleh kelenjar pencernaan yaitu hati dan pankreas.

e. Sistem Respirasi

Pada amoeba, pengambilan oksigen berlangsung secara difusi melalui permukaan tubuh. Serangga melakukan dengan tracea, yang tidak di pakai untuk memompa udara. Hewan air seperti ikan dan larva-larva menggunakan insang sebagai organ respirasi. Pada katak, reptil, burung dan mamalia alat pernapasan utama adalah paru-paru. Pada ikan terdapat gelembung udara, dan pada burung di lengkapi dengan pundi-pundi paru-paru. Di bawah ini gambar alat pernapasan pada manusia.

f. Sistem Ekskresi

Berfungsi untuk membuang sisa-sisa hasil metabolisme protein (NH_3 , Urea, Uric Acid) yang bersifat racun. Macamnya, pada protozoa dilakukan oleh vakuola berdenyut, pada plathyhelminthes dilakukan oleh apa yang disebut “flame cell”, sedangkan pada cacing tanah, berlangsung melalui nephridium. Pada hewan vertebrata organ ekskresi yang utama adalah ginjal, yang dibantu oleh kulit.

g. Sistem Peredaran

Pada belalang terdapat sistem peredaran darah terbuka. Darah dari jantung menyebar ke jaringan tanpa melalui pembuluh darah, kembali ke jantung melalui ruang antar jaringan yang disebut “*Hemocoel*”.

Sistem peredaran tertutup, dibangun oleh jantung sebagai organ utama dan pembuluh darah arteri serta vena. Pada ikan jantung berisi darah kotor, karena pengambilan oksigen dilakukan oleh insang, yang masuk ke aorta dorsal.

Pada katak terjadi pencampuran darah kotor dan bersih pada jantungnya, darah kotor masuk ke paru-paru sedangkan yang bersih didistribusikan ke seluruh tubuh. Pada katak terdapat dua sistem vena aorta yaitu: vena porta renalis, dan vena porta hepatica. Pada burung lengkung aorta yang berfungsi adalah sebelah kanan, sedangkan pada mamalia adalah sebelah kiri.

h. Sistem Saraf

Terdapat sistem saraf pusat yaitu otak dan sumsum tulang belakang, sistem saraf perifer (TSP) yaitu saraf kranial dan saraf spinal, serta saraf otonom. Pada manusia saraf kranial terdapat 12 pasang sedangkan pada katak hanya 10 pasang.

i. Sistem Perkembangbiakan

Pada hewan betina di bangun oleh kelenjar-kelenjar kelamin betina yang di sebut ovarin yang di lengkapi dengan saluran telur. Pada hewan jantan kelenjar kelamin tersebut testis yang menghasilkan spermatozoa, sering di lengkapi dengan kelenjar-kelenjar pembantu seperti kelenjar prostata, kelenjar bulbo urethra, dan vasikula seminalis.

j. Sistem Endokrin

Fungsinya menghasilkan hormon yang membantu sistem koordinasi. Kelenjar endokrin: hypophyse, kelenjar thyroid, kelenjar adrenal, kelenjar pankreas, kelenjar kelamin (Testis dan Ovarium) dan kelenjar opipyse.

BAB 5

SISTEM REPRODUKSI MAHLUK HIDUP

A. Organ Reproduksi Pada Hewan

Reproduksi merupakan proses penting bagi semua bentuk kehidupan. Tanpa melakukan reproduksi, tak satu spesies pun di dunia ini yang mampu hidup lestari. Setelah dewasa alat-alat reproduksi akan berkembang dan proses reproduksi dapat berlangsung baik spesies jantan maupun betina. Organ reproduksi pada hewan dibagi menjadi hewan tingkat rendah (avertebrata) dan hewan tingkat tinggi (vertebrata).

1. Hewan Tingkat Rendah (Avertebrata)

Pada hewan tingkat rendah terdapat dua cara reproduksi yaitu aseksual (tanpa perkawinan) dan seksual (dengan perkawinan). Reproduksi aseksual dilakukan dengan cara:

- a. Pembelahan. Pembelahan dilakukan oleh protozoa, dan beberapa metazoa. Hewan ini akan membelah menjadi dua sel anak (*binary fission*) atau menjadi beberapa sel anak (*multiple fission*). Arah pembelahan sel-selnya ada yang ke arah melintang misalnya pada *Paramaecium* dan ada yang ke arah membujur / memanjang misalnya pada *Euglena*.
- b. Tunas. Tunas ini akan melepaskan diri dari induknya bila telah dewasa. Cara reproduksi ini dapat kita jumpai pada *Hydra* atau Porifera.
- c. Gemmule. Gemmule merupakan sel yang banyak mengandung makanan di daerah mesoglea (lapisan tengah) dan berkumpul membentuk seperti bola dikelilingi oleh dinding tebal dari kitin. Gemmule ini

dibentuk bila keadaan lingkungan tidak menguntungkan. Contohnya pada porifera air tawar.

- d. Regenerasi. Regenerasi adalah suatu proses perkembangbiakan suatu individu dari bagian tubuhnya yang terlepas. Tetapi regenerasi dapat pula di artikan sebagai penyembuhan/pertumbuhan kembali bagian tubuh yang hilang atau rusak. Contohnya pada: *Planaria*, *Echinodermata*.
- e. Partenogenesis. Partenogenesis yaitu terbentuknya individu baru tanpa terjadinya fertilisasi. Contoh partenogenesis yaitu telur belalang jambu yang dapat menetas meskipun tidak mengalami fertilisasi. Jadi, meskipun hanya seekor betina yang dipelihara, tetapi telur yang dihasilkan tetap dapat menetas. Sel telur dapat berkembang menjadi individu baru walaupun tanpa fertilisasi.

Selain melakukan reproduksi aseksual, hewan tingkat rendah juga mampu melakukan reproduksi secara kawin (seksual). Reproduksi seksual dilakukan dengan cara:

- a. Konjugasi. Hewan tingkat rendah misalnya pada *Paramecium* juga berkembang biak secara generatif melalui *konjugasi*. Caranya dua sel saling mendekat pada bagian mulut selnya, kemudian terjadi tukar menukar inti sel.
- b. Anisogami. Pada *Hydra*, *Plasmodium*, porifera, dan cacing dapat menghasilkan dua jenis gamet yang berbeda dalam bentuk, ukuran serta perilakunya. Gamet jantan biasanya kecil dan bergerak aktif sedangkan yang betina relatif lebih besar tetapi pasif. Anisogami merupakan cara reproduksi seksual yang paling umum dilakukan oleh tumbuhan tinggi dan hewan bertulang belakang. Reproduksi semacam ini lebih di kenal dengan nama fertilisasi (pembuahan).

- c. Metagenesis. Merupakan reproduksi yang saling bergantian antara reproduksi aseksual dengan reproduksi seksualnya. Cara reproduksi semacam ini terdapat pada *Coelenterate*, misalnya *Obelia*. Hewan ini memiliki polip yang melakukan reproduksi aseksual dan bentuk medusa (ubur-ubur) yang melakukan reproduksi seksual.
- d. Hermaprodit. Hermaprodit yaitu satu individu menghasilkan sel sperma dan ovum. Meskipun hermaprodit, cacing dan bekicot tetap memerlukan hewan lain untuk melakukan perkawinan.

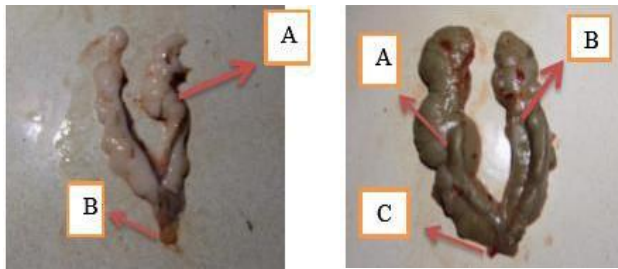
2. Hewan Tingkat Tinggi (Vertebrata)

Reproduksi seksual pada vertebrata diawali dengan perkawinan dan terjadi fertilisasi. Fertilisasi menghasilkan zigot yang akan berkembang menjadi embrio. Fertilisasi pada vertebrata dapat terjadi secara eksternal atau secara internal. Fertilisasi eksternal merupakan penyatuan sperma dan ovum di luar tubuh hewan betina, yakni berlangsung di dalam air. Contohnya pada ikan (pisces) dan amfibi (katak). Fertilisasi internal merupakan penyatuan sperma dan ovum yang terjadi di dalam tubuh hewan betina. Dimulai dengan kopulasi, yaitu masuknya alat kelamin jantan ke dalam alat kelamin betina. Fertilisasi internal terjadi pada hewan yang hidup di darat (*terrestrial*), contohnya pada reptil, aves dan mamalia.

Organ Reproduksi pada hewan tingkat tinggi yaitu sebagai berikut:

- a. Ikan (Pisces)

Organ reproduksinya meliputi testis, vas deferens, lubang urogenitalia untuk jantan dan untuk betina adalah ovarium, oviduk dan lubang urogenitalia.



Gambar 1. 1. Organ reproduksi ikan jantan.

Gambar 1.2. Organ reproduksi ikan betina.

Sumber: <https://www.google.com/search?q=reproduksi+ikan&tbm>

b. Katak (amphibia)

Organ reproduksinya meliputi testis, vas efferentia dan kloaka untuk jantan dan untuk betina yaitu ovarium, oviduk dan kloaka.

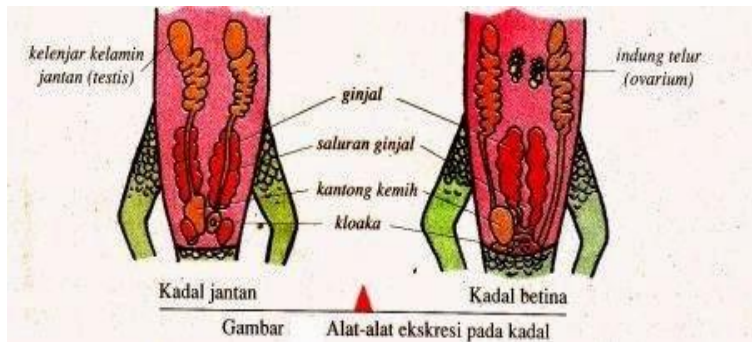


Gambar 2. Organ reproduksi katak betina dan katak jantan

Sumber: <https://www.google.com/search?q=organ+reproduksi+KATAK&tbm>

c. Reptil (Reptilia)

Organ reproduksinya meliputi testis, hemipenis, vas deferens, epididimis dan kloaka. Untuk betina yaitu ovarium, oviduk dan kloaka.

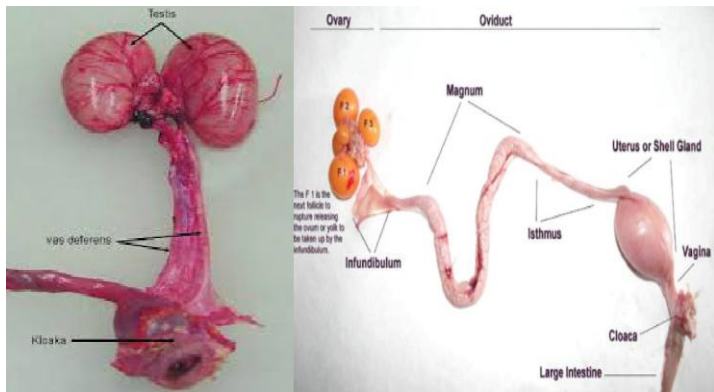


Gambar 3. Organ reproduksi reptil jantan dan organ reproduksi reptil betina.

Sumber: <https://www.google.com/search?q=organ+kelamin+reptil&tbm>

d. Burung (Aves)

Organ reproduksi bagi yang jantan yaitu testis, vas deferens dan kloaka. Untuk yang betina meliputi ovarium kiri, oviduk, dan kloaka.



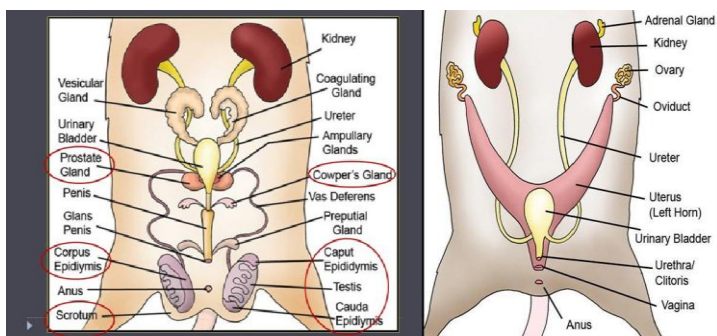
Gambar 4. Organ reproduksi burung jantan, dan organ

reproduksi burung betina.

Sumber: <https://www.google.com/search?q=organ+kela min+burung+betina&tbm>

e. Mamalia

Organ reproduksi jantan meliputi penis, vas deferens, testis dan anus. Testis berfungsi untuk menghasilkan sperma. Sperma dikeluarkan melalui saluran sperma yang disebut vas deferens. Untuk memindahkan sperma ke dalam tubuh hewan betina terdapat organ yang dinamakan penis. Organ reproduksi betina meliputi ovarium, oviduk, dan uterus. Ovarium berfungsi untuk menghasilkan sel telur atau ovum. Sel telur yang telah dilepaskan dari ovarium (ovulasi) keluar melalui saluran telur dan akhirnya sampai di uterus. Jika sel telur ini dibuahi oleh sperma, akan terbentuk zigot yang akan tumbuh dan berkembang menjadi embrio. Setiap embrio memperoleh nutrisi dan oksigen dari plasenta yang dihubungkan melalui tali pusat. Jika sudah tiba masa lahirnya, embrio lepas dari uterus dan dikeluarkan melalui vagina.



Gambar 5. Organ reproduksi mamalia jantan, dan organ reproduksi mamalia betina.

Sumber: <https://www.google.com/search?q=organ+kela min+mamalia&tbm>

B. Organ Reproduksi pada Tumbuhan

Reproduksi pada tumbuhan dibagi menjadi 2 yaitu secara vegetatif dan generatif. Contoh vegetatif alami antara lain dengan umbi lapis, umbi batang, rizom, tunas liar (adventif), tunas, geragih, spora, dan fragmentasi.

1. Spora. Reproduksi dengan spora biasanya terjadi pada lumut dan tumbuhan paku. Spora tumbuhan lumut dibentuk oleh generasi sporofit, yaitu di dalam sporangium (kotak spora). Spora tumbuhan paku dihasilkan oleh daun fertil (sporofil) pada permukaan bawah daun fertil (sporofil) pada permukaan bawah daun atau di tepi-tepi daun.
2. Fragmentasi. Fragmentasi adalah perkembangbiakan dengan cara memisahkan diri dari koloni induknya dan tumbuhan menjadi individu baru. Pada umumnya, fragmentasi terjadi pada ganggang hijau yang berbentuk filament, misalnya *Hydrodictyon* sp.
3. Tunas. Biasanya tunas muncul pada tumbuhan yang telah dewasa (tua). Tunas ini dapat muncul dari akar, batang, atau daun. Pembentukan tunas batang misalnya terjadi pada tumbuhan bambu, tebu, dan pisang. Tunas akar misalnya pada tumbuhan cemara, sukun, kesemek. Tunas daun pada tumbuhan cocor bebek. Tunas-tunas yang muncul selain pada batang dinamakan tunas adventif (liar).
4. Umbi lapis. Umbi lapis adalah batang yang tumbuh dibawah tanah. Bentuk umbi lapis menggelembung, berair dan memiliki sisik-sisik daun yang berfungsi sebagai cadangan makanan. Umbi lapis memiliki tunas samping (anak umbi lapis) yang tumbuh di antara daun. Tunas samping akan tumbuh menjadi individu baru dan memisahkan diri dari induknya. Tumbuhan yang membentuk umbi lapis antara lain bawang merah

5. Umbi batang (Tuber). Umbi batang adalah batang yang menggelembung di bawah tanah. Umbi batang berisi cadangan makanan. Pada umbi batang terdapat mata tunas-mata tunas yang kelak tumbuh menjadi tumbuhan baru. Umbi batang terdapat antara lain pada kentang.
6. Rizom. Rizom adalah batang yang tebal dan tumbuh di bawah tanah. Pada rizom terdapat tunas, sisik-sisik daun, dan antar ruas. Jika rizom terpisah dari induknya maka akan tumbuh menjadi individu baru. Rizom terdapat pada tumbuhan Zingiberaceae, dahlia, dan beberapa jenis rumput.
7. Stolon (Geragih). Stolon sering kita lihat pada rumput-rumputan liar. Stolon merupakan batang yang menjalar di permukaan atau di bawah tanah. Panjang stolon ini bisa bermeter-meter. Di sepanjang stolon tumbuh tunas-tunas liar yang kelak akan tumbuh menjadi individu baru. Stolon yang menjulur di atas tanah misalnya pegagan (*Centella asiatica*) dan stroberi (*Fragraria vesca*), sedangkan yang menjalar di bawah tanah misalnya rumput teki (*Cyperus rotundus*).

Contoh vegetatif secara buatan (dengan campur tangan manusia) antara lain stek, cangkok, mengenten, okulasi, dan merunduk.

1. Stek adalah cara perkembangbiakan dengan menggunakan potongan-potongan batang atau cabang, terutama pada daerah yang berbuku-buku, misalnya tanaman *Manihot utilisima* (singkong) dan *Saccharum officinarum* (tebu).
2. Cangkok adalah cara perkembangbiakan dengan membuang sebagian kulit dan kambium secara melingkar pada cabang batang, lalu ditutup dengan tanah yang kemudian dibungkus dengan pembalut

(sabut atau pelastik). Setelah akar tumbuh, batang dipotong kemudian ditanam. Cangkok hanya dapat dilakukan pada tumbuhan dikotil.

3. Mengenten adalah menyambung dua jenis tumbuhan yang berbeda. Mula-mula biji tumbuhan disemaikan. Setelah tumbuh sebesar yang diinginkan, lalu dipotong dan disambung dengan potongan cabang/ranting jenis tumbuhan lain yang kualitasnya lebih baik dan diameter batangnya kurang lebih sama, lalu dibalut dan diikat dengan kuat.
4. Okulasi (Menempel). Okulasi pada dasarnya sama dengan mengenten. Okulasi dilakukan dengan cara mengambil mata tunas pada batang. Kedua macam tumbuhan yang diokulasi biasanya mempunyai kelebihan tersendiri, misalnya tumbuhan jeruk yang perakarannya kuat, buahnya sedikit dan kecil-kecil dengan tumbuhan jeruk yang perakaran lemah namun dapat berbuah banyak dan besar-besar.
5. Merunduk adalah menundukkan cabang/batang tumbuhan hingga masuk ke dalam tanah. Pada bagian yang ditimbun tanah tersebut kemudian akan muncul akar. Setelah perakaran kuat, lalu batang dipotong dan dipisahkan dengan induknya.
6. Kultur jaringan adalah menanam/mengkultur sel tumbuhan dalam medium buatan yang dilengkapi hormon. Dari sel tersebut akan tumbuh individu baru yang sama dengan induknya.

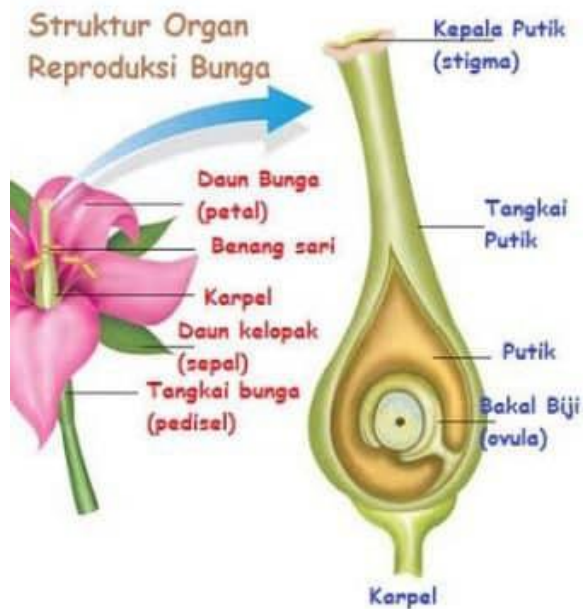
Keuntungan-keuntungan reproduksi secara vegetatif buatan antara lain, sifat-sifat tumbuhan hasil reproduksi sama dengan sifat-sifat tumbuhan induknya dan cepat menghasilkan buah. Kekurangan-kekurangannya antara lain system perakaran kurang kuat, terutama yang dilakukan dengan stek

atau cangkok; dan jika tanaman dipotong ranting-rantingnya maka dapat menyebabkan menurunnya pertumbuhan.

Reproduksi seksual/generatif pada tumbuhan merupakan cara reproduksi yang melibatkan proses peleburan gamet jantan dan gamet betina. Proses peleburan dua gamet induk ini biasa disebut pembuahan. Reproduksi generatif terjadi pada tumbuhan berbiji (Spermatophyta), baik gymnospermae (berbiji terbuka) maupun angiospermae (berbiji tertutup). Organ perkembangbiakan tumbuhan biji adalah putik (pistil) dan benang sari (stamen).

1. Putik. Putik adalah alat kelamin betina yang dapat menghasilkan sel kelamin betina dan disebut sel telur (ovum). Bagian – bagian putik yaitu:
 - a. Kepala putik (stigma). Kepala putik berfungsi sebagai tempat berlangsungnya penyerbukan di atas kepala putik terdapat bulu-bulu yang sangat halus dan berlendir sehingga dapat membantu menangkap serbuk sari.
 - b. Tangkai putik.
 - c. Bakal buah. Bakal buah terdapat paling dekat dengan dasar bunga (Reseptakulum) bakal buah berisi satu atau lebih bakal biji (ovulum).
 - d. Benang Sari. Benang sari adalah alat kelamin jantan yang dapat menghasilkan sel kelamin jantan yang disebut sel sperma (Spermatozoid).
2. Perhiasan Bunga
 - a. Mahkota Bunga. Mahkota bunga berfungsi untuk menarik serangga penyerbuk, pelindung benang sari dari putik dan sebagai tempat hinggap serangga yang akan menghisap madu.

- b. Kelopak Bunga. Fungsinya melindungi bunga pada waktu masih menguncup untuk menarik perhatian serangga dan hewan agar dapat membantu proses penyerbukan.



Gambar 6. Organ pada bunga.

Sumber : <https://sel.co.id/organ-reproduksi-bunga-lengkap/>

C. Proses Reproduksi Pada Hewan Tingkat Tinggi

Reproduksi seksual pada vertebrata diawali dengan perkawinan yang diikuti dengan terjadinya fertilisasi. Fertilisasi menghasilkan zigot yang akan berkembang menjadi embrio. Fertilisasi pada vertebrata dapat terjadi secara eksternal atau secara internal. Fertilisasi eksternal merupakan penyatuan sperma dan ovum di luar tubuh hewan betina, yakni berlangsung dalam suatu media cair, misalnya air. Contohnya pada ikan (pisces) dan amfibi (katak) Fertilisasi internal merupakan penyatuan sperma dan ovum yang terjadi di dalam

tubuh hewan betina. Hal ini terjadi karena adanya peristiwa kopulasi, yaitu masuknya alat kelamin jantan ke dalam alat kelamin betina. Contohnya pada reptil, aves dan mamalia.

1. Ikan (Pisces)

Ikan merupakan jenis hewan ovipar. Ikan jantan dan ikan betina tidak memiliki alat kelamin luar. Pembuahan ikan terjadi di luar tubuh. Sel telur dikeluarkan melewati oviduk dan kemudian dialirkan ke lubang urogenital. Setelah ikan betina mengeluarkan sel telur di sembarang tempat atau di tempat tertentu, maka akan diikuti oleh ikan jantan dengan mengeluarkan sperma. Sperma melewati vas efferentia dan menuju kloaka. Kloaka merupakan tempat keluarnya sperma, saluran urin, dan sisa pembuangan makanan.

2. Katak (Amphibia)

Katak jantan dan katak betina tidak memiliki alat kelamin luar. Pembuahan katak terjadi di luar tubuh. Pada saat kawin, katak jantan dan katak betina akan melakukan amplexus, yaitu katak jantan akan menempel pada punggung katak betina dan menekan perut katak betina. Kemudian katak betina akan mengeluarkan ovum ke dalam air. Setiap ovum yang dikeluarkan diselaputi oleh selaput telur (membran vitelin). Sebelumnya, ovum katak yang telah matang dan berjumlah sepasang ditampung oleh suatu corong. Perjalanan ovum dilanjutkan melalui oviduk. Di dekat pangkal oviduk pada katak betina dewasa terdapat saluran yang menggembung yang disebut kantung telur (uterus). Oviduk katak betina terpisah dengan ureter. Oviduk nya berkelok-kelok dan bermuara di kloaka. Segera setelah katak betina mengeluarkan ovum, katak jantan juga akan menyusul mengeluarkan sperma. Sperma dihasilkan oleh testis yang berjumlah sepasang dan disalurkan ke dalam vas deferens. Vas deferens katak jantan bersatu dengan ureter. Dari vas deferens sperma lalu bermuara di kloaka. Setelah terjadi fertilisasi

eksternal, ovum akan diselimuti cairan kental sehingga kelompok telur tersebut berbentuk gumpalan telur. Gumpalan telur yang telah dibuahi kemudian berkembang menjadi berudu. Berudu awal yang keluar dari gumpalan telur bernapas dengan insang dan melekat pada tumbuhan air dengan alat hisap. Berudu awal kemudian berkembang dari herbivor menjadi karnivora atau insektivora (pemakan serangga). Bersamaan dengan itu mulai terbentuk lubang hidung dan paru-paru, serta celah-celah insang mulai tertutup. Selanjutnya celah insang digantikan dengan anggota gerak depan.

3. Reptil (Reptilia)

Fertilisasinya terjadi di dalam tubuh (fertilisasi internal). Umumnya reptil bersifat ovipar, namun ada juga reptil yang bersifat ovovivipar, seperti ular garter dan kadal. Telur ular garter atau kadal akan menetas di dalam tubuh induk betina. Namun makanannya diperoleh dari cadangan makanan yang ada dalam telur. Reptil betina menghasilkan ovum di dalam ovarium. Ovum kemudian bergerak di sepanjang oviduk menuju kloaka. Reptil jantan menghasilkan sperma di dalam testis. Sperma bergerak disepanjang saluran yang langsung berhubungan dengan testis, yaitu epididimis. Dari epididimis sperma bergerak menuju vas deferens dan berakhir di hemipenis. Hemipenis merupakan dua penis yang dihubungkan oleh satu testis yang dapat dibolak-balik seperti jari-jari pada sarung tangan karet. Pada reptil mengadakan kopulasi, hanya satu hemipenis saja yang dimasukkan ke dalam saluran kelamin betina. Ovum reptil betina yang telah dibuahi sperma akan melalui oviduk dan pada saat melalui oviduk, ovum yang telah dibuahi akan dikelilingi oleh cangkang yang tahan air. Pada beberapa jenis reptil, telur ditanam dalam tempat yang hangat dan ditinggalkan oleh induknya. Di dalam telur terdapat persediaan kuning telur yang berlimpah. Hewan reptil seperti kadal, iguana laut, beberapa ular dan kura-kura serta berbagai

jenis buaya melewati sebagian besar hidupnya di dalam air. Namun mereka akan kembali ke darat ketika meletakkan telurnya.

4. Burung (Aves)

Fertilisasi terjadi di dalam tubuh. Hal ini dilakukan dengan cara saling menempelkan kloaka. Pada burung betina hanya ada satu ovarium, yaitu ovarium kiri. Ovarium kanan tidak tumbuh sempurna dan tetap kecil yang disebut rudimenter. Ovarium dilekati oleh suatu corong penerima ovum yang dilanjutkan oleh oviduk. Ujung oviduk membesar menjadi uterus yang bermuara pada kloaka. Pada burung jantan terdapat sepasang testis yang berhimpit dengan ureter dan bermuara di kloaka. Fertilisasi akan berlangsung di daerah ujung oviduk pada saat sperma masuk ke dalam oviduk. Ovum yang telah dibuahi akan bergerak mendekati kloaka. Saat perjalanan menuju kloaka di daerah oviduk, ovum yang telah dibuahi sperma akan dikelilingi oleh materi cangkang berupa zat kapur. Telur dapat menetas apabila dierami oleh induknya.

5. Mamalia (Mammalia)

Semua jenis mamalia, misalnya sapi, kambing dan marmut merupakan hewan vivipar (kecuali Platypus). Mamalia jantan dan betina memiliki alat kelamin luar, sehingga pembuahannya bersifat internal. Sebelum terjadi pembuahan internal, mamalia jantan memasukkan alat kelamin jantan (penis) ke dalam alat kelamin betina (vagina). Pada betina terdapat organ ovarium yang menghasilkan ovum yang kemudian bergerak di sepanjang oviduk menuju uterus. Selain uterus, terdapat serviks (rahim) yang berakhir pada vagina. Pada mamalia jantan terdapat testis yang berisi sperma, berjumlah sepasang dan terletak dalam skrotum. Sperma yang dihasilkan testis disalurkan melalui vas deferens yang bersatu dengan ureter. Pada pangkal ureter juga bermuara saluran prostat dari kelenjar prostat. Kelenjar prostat

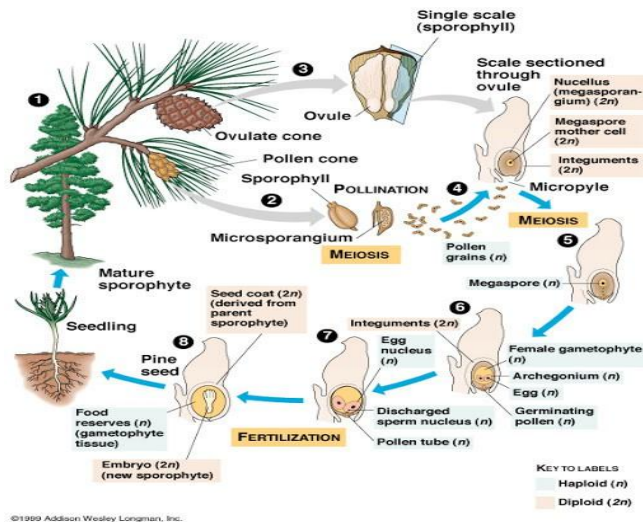
menghasilkan cairan yang merupakan media tempat hidup sperma. Sperma yang telah masuk ke dalam serviks akan bergerak menuju uterus dan oviduk untuk mencari ovum yang masak. Ovum yang telah dibuahi sperma akan membentuk zigot yang selanjutnya akan menempel pada dinding uterus. Zigot akan berkembang menjadi embrio dan fetus. Zigot membutuhkan banyak zat makanan dan oksigen yang diperoleh dari uterus induk dengan perantara plasenta (ari-ari).

D. Proses Reproduksi pada Tumbuhan

Proses reproduksi seksual pada tumbuhan memerlukan gamet jantan dan betina. Proses tersebut diawali penyerbukan dan dilanjutkan dengan proses pembuahan. Pada tumbuhan biji terbuka (*gymnospermae*) belum memiliki bunga yang sesungguhnya. Alat reproduksi disebut konus atau runjung yang dilindungi oleh sisik. Runjung ada 2 macam yaitu runjung betina dan runjung jantan. Runjung jantan mempunyai beberapa mikrosporofil. Setiap mikrosporofil mempunyai dua mikrosporangium yang di dalamnya terbentuk sel induk mikrospora. Sel induk mikrospora akan mengalami meiosis menghasilkan empat mikrospora yang haploid. Runjung betina terdiri atas sumbu tengah yang dilekati sisik. Setiap sisik terdapat dua ovul (bakal biji). Setiap ovul dilapisi oleh integumen yang bersatu dengan megasporangium. Di dalam megasporangium terdapat satu sel induk megaspora yang akan mengalami meiosis menghasilkan empat megaspora. Tiga diantara megaspora akan mereduksi diri sehingga tinggal satu megaspora yang fungsional. Proses penyerbukan dan pembuahan terjadi sebagai berikut:

1. Serbuk sari mulai berkecambah dan membentuk tabung sari serta masuk ke jaringan megasporangium. Sel generatif membelah menjadi sel tangkai dan sel tubuh. Sel tubuh membelah membentuk gamet jantan atau sperma. Tabung serbuk sari akan menembus sel leher

dari arkegonium dan melepaskan isinya kedalam sel telur. Salah satu sel sperma akan bersatu dengan sel telur dan semua sisa dari inti gametofit jantan akan tereduksi.

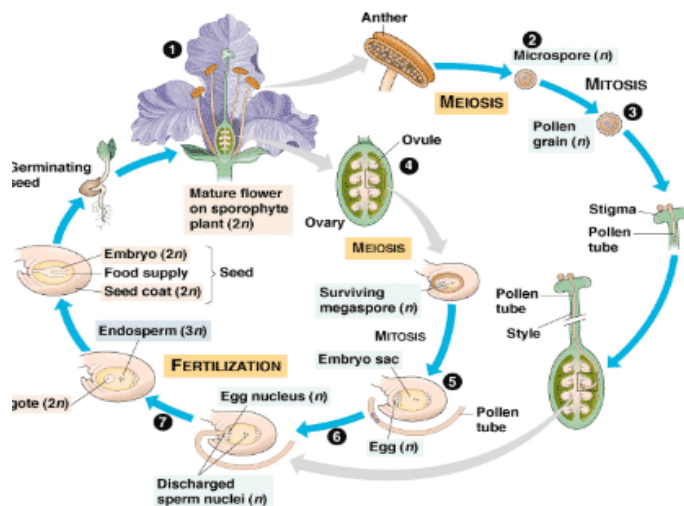


Gambar 7. Proses penyerbukan pada gymnospermae.

Sumber: <http://hotmariaagustina.blogspot.com/2012/0/perbedaan-reproduksi-angiospermae.html>

2. Penyerbukan pada tumbuhan biji tertutup (angiospermae) Pembentukan gametofit betina berasal dari hasil pembelahan inti kandung lembaga primer di dalam bakal biji. Proses pembentukannya adalah sebagai berikut : inti kandung lembaga primer membelah tiga kali berturut- turut sehingga terbentuk delapan inti, tiga inti di daerah mikrofil yang terdiri dari satu buah sel telur dan dua sel pengapit sel telur, yang disebut sel sinergid, tiga inti di daerah kalaza disebut antipoda, dan dua inti bergerak ke bagian tengah kandung lembaga melebur membentuk inti kandung lembaga sekunder. Jadi gametofit betina terdiri atas sel telur(n), sel sinergid (n) dan inti kandung lembaga

sekunder ($2n$). Gametofit jantan dibentuk di dalam kantong sari. Selama Gametogenesis inti serbuk sari membelah menghasilkan inti vegetatif dan inti generatif, yang tidak sama besar. Sel vegetatif lebih besar dari sel generatif. Inti sel generatif membelah secara mitosis dan menghasilkan 2 sel sperma. Proses pembuahan berawal dari proses penyerbukan. Selisih antara penyerbukan dan proses pembuahan relatif pendek. Pada saat serbuk sari jatuh di kepala putik segera terbentuk buluh serbuk sari. Pada ujung buluh serbuk sari terdapat inti vegetatif bertindak sebagai penunjuk jalan bagi dua inti sperma. Selanjutnya buluh serbuk sari terus tumbuh memanjang mencapai bakal biji. Di dalam bakal biji inti sperma I (n) membuahi sel telur (n) sehingga terbentuk zigot ($2n$) dan inti sperma II (n) membuahi inti kandung lembaga sekunder sehingga terbentuk endosperm ($3n$). Peristiwa pembuahan ini disebut pembuahan ganda.



Gambar 8. Proses penyerbukan pada angiospermae.

Sumber: <https://duniapendidikan.co.id/reproduksi-angiospermae/>

BAB 6

SISTEM REPRODUKSI PADA MANUSIA

Sistem reproduksi adalah kumpulan struktur terorganisir yang berperan dalam penciptaan (pembentukan) kehidupan baru bagi kelangsungan hidup makhluk hidup (manusia). Dalam proses reproduksi berperan dua individu yaitu jantan (pria) dan betina (wanita). Sistem reproduksi pria dan wanita memiliki struktur yang berbeda yang saling melengkapi. Penyatuan gamet pria dan wanita yang masing-masing membawa separuh set kromosom untuk membentuk individu baru dengan set kromosom lengkap. Sistem reproduksi pria dan wanita dirancang agar memungkinkan penyatuan bahan genetik dari dua pasangan seksual. Sistem reproduksi wanita dilengkapi untuk menampung dan memelihara keturunan sampai tahap perkembangan sehingga memungkinkan individu baru tersebut bertahan hidup secara independen di lingkungan eksternal.

Organ reproduksi primer (gonad) terdiri dari sepasang testis (pria) dan sepasang ovarium (wanita). Pada kedua jenis kelamin, gonad matur memiliki dua fungsi yaitu (1) menghasilkan gamet (gametogenesis) yaitu spermatozoa pada pria dan ovum (sel telur) pada wanita dan (2) menghasilkan hormon seks, testosterone (pria) dan estrogen serta progesterone (wanita).

Baik pria maupun wanita memiliki organ reproduksi eksternal (bagian luar) dan internal (bagian dalam). Organ reproduksi bagian luar pria terdiri dari penis dan scrotum, sedangkan organ reproduksi bagian dalam yaitu testis, epididimis, duktus deferens, vesikula seminalis, duktus ejakulator, serta kelenjar prostat. Pada wanita, organ reproduksi bagian luar terdiri dari mons pubis, labia mayora, labia minora, klitoris, glandula vestibularis mayor dan glandula vestibularis minor. Sedangkan organ reproduksi bagian dalam yaitu vagina,

tuba uterine, uterus serta ovarium. Keseluruhan organ-organ tersebut baik organ dalam maupun organ luar memiliki peran dalam proses reproduksi manusia.

A. Organ Reproduksi Pada Pria

Sistem reproduksi pria terjadi dalam tiga bagian yaitu pertama spermatogenesis merupakan tahap pembentukan sperma, kedua kinerja kegiatan seksual pria dan ketiga pengaturan fungsi reproduksi pria oleh berbagai hormon. Tugas utama sistem reproduksi pria adalah untuk menghasilkan sel sperma dan menyalurkan sperma ke organ reproduksi wanita. Sperma dihasilkan oleh testis tepatnya di tubulus seminiferus. Penyaluran sperma ke organ reproduksi wanita melewati beberapa tahapan yaitu (1) adanya peran testis yang menghasilkan sel spermatozoa dan hormon testosterone, (2) kelenjar tambahan menyediakan cairan (semen) serta (3) saluran tambahan yang menyimpan dan membawa sperma dari testis dan kelenjar tambahan ke penis.

Spermatogenesis terjadi di dalam tubulus seminiferus selama kehidupan seksual aktif, yang disebabkan oleh rangsangan hormon gonadotropin hipofisis anterior. Spermatogenesis merupakan suatu proses kompleks yang melibatkan tahap proliferasi mitotik, miosis dan pengemasan. Pertama-tama sel germinativum primordial yang belum berdiferensiasi (spermatogonia) yang masing-masing mengandung komplemen diploid 46 kromosom, berproliferasi. Proliferasi ini menghasilkan dua sel anakan, satu sel anak tetap berada di batas luar tubulus seminiferous untuk mempertahankan sel germinativum dan yang lainnya bergerak ke arah lumen untuk menghasilkan sperma. Pada manusia, sel anak penghasil sperma membelah secara mitosis dua kali lagi untuk menghasilkan empat spermatosit primer identik. Selama miosis, setiap spermatosit primer (jumlah diploid 46 kromosom rangkap) membentuk dua spermatosit sekunder

(masing-masing haploid 23 kromosom rangkap) selama pembelahan meiosis pertama, kemudian menghasilkan empat spermatid (masing-masing 23 kromosom tunggal) pada pembelahan meiosis kedua. Pada tahap terakhir, spermatid mengalami pematangan menjadi spermatozoa.

Aktivitas seksual pria terjadi melalui beberapa tahapan yaitu ereksi, lubrikasi, emisi dan ejakulasi. Ereksi adalah mengerasnya penis yang normalnya lunak agar dapat masuk ke dalam vagina, yang disebabkan oleh impuls saraf parasimpatis yang menjalar dari bagian sacral medula spinalis melalui nervus pelvikus ke penis. Lubrikasi yaitu sekresi lendir oleh kelenjar uretra dan kelenjar bulboourethralis selama

koitus. Kebanyakan lubrikasi selama koitus lebih disebabkan oleh kelenjar wanita dari pada pria. Sedangkan emisi dan ejakulasi merupakan puncak dari aksi seksual pria. Pada saat rangsangan seksual menjadi kuat, pusat refleks pada medulla spinalis mulai melepas impuls simpatis yang meninggalkan medula pada L-1 dan L-2 dan menyebrang ke organ genital melalui plexus hipogastrik dan plexus simpatis pelvikus untuk mengawali emisi dan selanjutnya ejakulasi.

Pengaturan fungsi seksual pada pria dimulai dengan sekresi hormon pelepasan gonadotropin (GnRH) oleh hipotalamus, selanjutnya hormon ini merangsang kelenjar hipofisis anterior untuk menyekresikan dua hormon lainnya yaitu hormon gonadotropin (1) hormon lutein (LH) dan hormon perangsang folikel (FSH). LH merangsang testis mengeluarkan hormon testosterone dan FSH merangsang spermatogenesis.

B. Organ Reproduksi Bagian Luar dan Dalam

Organ reproduksi bagian luar pria terdiri dari penis dan scrotum, sedangkan organ reproduksi bagian dalam yaitu testis, epididimis, duktus deferens, vesikula seminalis, duktus ejakulator, serta kelenjar prostat.

Penis terletak menggantung di depan skrotum, bagian ujung disebut glans penis, bagian tengah disebut korpus penis, bagian pangkal disebut radiks penis. Kulit ini berhubungan dengan pelvis, skrotum, dan perineum. Kulit pembungkus sangat tipis dan tidak berhubungan dengan bagian permukaan dalam dari organ dan tidak mempunyai jaringan adiposa.

Secara anatomis, organ penis terdiri dari dua bagian, yaitu: pars occulta dan pars libera. Pars occulta disebut juga radiks penis atau pars fiksa, yang terdiri atas dua krura penis dan satu bulbus penis. Sementara itu, pars libera terdiri atas korpus penis dan glans penis. Pars occulta adalah bagian penis yang tidak bergerak, terletak dalam spatium parinei superfisialis. Pars occulta merupakan jaringan erektile. Krura penis melekat pada bagian kaudal sebelah dalam dari rumus inferior ossis ischia ventral dari tuber iskiadikum. Sementara itu, bulbus penis terletak antara kedua krura penis dalam spatium perinei superfisialis. Glans penis merupakan bagian yang dipisahkan dari korpus oleh suatu penyempitan yang dinamakan kolum, sedangkan peninggian dibagian distal yang membatasinya dinamakan korona glandis. Preputium penis adalah lipatan kulit yang menutupi glans penis mulai dari kolum glandis sampai orifisium uretrae eksternum. Preputium penis terdiri atas dua lapis kulit (luar dan dalam). Lapisan dalam tidak ada rambut sama sekali, hanya mengandung kelenjar-kelenjar lemak yang dinamakan glandula praeputialis dari Tyson, yang menghasilkan smegma praeputii. Praeputium penis merupakan bagian yang dipotong saat sirkumsisi atau sunat.

Penis terdiri atas jaringan-jaringan otot, jaringan spons yang lembut, pembuluh darah, dan pembuluh saraf. Fungsinya yaitu untuk kopulasi (hubungan antara alat kelamin jantan dan betina untuk memudahkan semen masuk ke dalam organ reproduksi betina). Badan penis terdiri atas tiga rongga silindris (sinus) jaringan erektile yaitu (1) dua rongga yang

berukuran lebih besar disebut korpus kavernosus, terletak bersebelahan dan (2) rongga yang ketiga disebut korpus spongiosum, mengelilingi uretra. Jika rongga tersebut terisi darah, maka penis tersebut menjadi lebih besar, kaku dan tegak (mengalami ereksi).

Secara anatomi, skrotum merupakan suatu kantong yang terdiri atas jaringan kutis dan subkutis yang terletak dorsal dari penis dan kaudal dari simfisis pubis. Di depan skrotum terdapat penis dan dibelakang terdapat anus. Selain itu, skrotum juga terbagi atas dua bagian dari luar oleh raphe scroti, dan dari dalam oleh septum skrotum scroti. Masing-masing kantong skrotum ruangan berisi testis, epidermis, dan sebagai funikulus spermatikus. Bentuk dari skrotum tergantung dari kontraksi dan relaksasi tunika dartos. Lapisan otot tunika dartos akan berkontraksi pada keadaan lingkungan yang dingin. Ketika berolahraga atau saat ada rangsangan seksual, maka kulit skrotum akan mengerut dan skrotum mengecil. Sebaliknya, lapisan otot tunika dartos akan relaksasi saat cuaca panas, maka kulit skrotum lebih halus atau rata sehingga skrotum akan memanjang atau mengendor. Skrotum sinistra lebih rendah daripada dekstra. Lapisan skrotum terdiri atas lapisan kutis dan subkutis.

Lapisan kutis merupakan lapisan kulit yang sangat tipis mengandung pigmen lebih banyak daripada kulit sekitarnya sehingga lebih gelap warnanya. Terdapat sedikit rambut, tetapi memiliki kelenjar sebacea dan kelenjar keringat yang lebih banyak. Lapisan subkutis disebut juga tunika dartos. Lapisan subkutis terdiri atas serabut-serabut otot polos dan tidak didapatkan jaringan lemak. Lapisan subkutis melekat erat pada jaringan kutis suprafisialnya dan merupakan lanjutan dari fascia superfisialis dan fascia penis superfisialis.

Testis merupakan kelenjar kelamin berjumlah sepasang yang menghasilkan sel sperma dan hormon testosteron. Berat

testis berkisar 10-14 g, panjangnya 4 cm, diameter antero-posteriorinya kurang lebih 3 cm, dan memiliki ketebalan (dari medial ke lateral) kurang lebih 2,5 cm. testis merupakan kelenjar eksokrin (sitogenik) dan endokrin. Disebut kelenjar eksokrin karena menghasilkan hormon untuk pertumbuhan genitalia eksterna. Testis berbentuk oval terdapat di dalam skrotum dimana skrotum ini dapat menjaga suhu testis. Jika suhu terlalu panas, skrotum mengembang, jika suhu dingin skrotum mengerut sehingga testis lebih hangat. Testis kiri dan kanan dibatasi oleh suatu sekat yang terdiri atas serat jaringan ikat dan otot polos. Pada janin, testis terdapat dalam kavum abdominalis dibelakang peritoneum. Sebelum kelahiram akan turun ke kanalis inguinalis bersama dengan fenikulus spermatikus kemudian masuk ke dalam skrotum.

Secara anatomis, Epididimis merupakan organ yang berbentuk huruf c, terletak pada fascies posterior testis dan sedikit menutupi fascies lateralis. Epididimis adalah saluran halus yang panjangnya kira-kira 6 cm, terletak disepanjang atas tepi dan belakang testis dan terdiri dari (1) kaput epididimis, berhubungan erat dengan bagian atas testis sebagai duktus eferens dan testis (2) kaput epididimis, badan ditutupi oleh membran sersa serikalis sepanjang tepi posterior (3) kauda epididimis, ekor disebut juga globulus minor ditutupi oleh membran serosa dan berhubungan dengan duktus deferens (4) ekstremitas superior, bagian yang besar dan (5) ekstremitas inferior, seperti titik.

Secara fisiologis fungsi dari epididimis adalah untuk menyimpan spermatozoa sampai penuh, kemudian dialirkan ke dalam duktus epididimis. Epididimis mengumpulkan sperma dari testis dan menyediakan ruang, serta lingkungan untuk proses pematangan sperma.

Secara fisiologis fungsi duktus deferens adalah membawa spermatozoa dari epididimis ke duktus ejakulatorius.

Duktus deferens adalah duktus ekskretorius dari testis, merupakan lanjutan dari kanalis epididimis, panjangnya 50-60 cm. mulai dari bagian bawah kauda, epididymis berbelit-belit, secara berangsur-angsur naik sepanjang tepi posterior testis dan sisi medialis bagian fenikulus spermatika, membelok sepanjang sisi lateral arteri epigastrika kemudian menjurus ke belakang agak turun ke fosa iliaka eksterna dan mencapai kavum pelvis.

Vesikula seminalis adalah organ berbentuk kantong bergelembung-gelembung yang menghasilkan cairan seminal. Posisinya tergantung isi vesika urinaria. Bila vesika urinaria penuh maka posisinya lebih vertikal, sedangkan bila kosong posisinya horizontal. Vesika seminalis terbungkus oleh jaringan ikat fibrosa dan muscular pada dinding dorsal vesika urinaria. Vesika seminalis merupakan dua ruangan diantara fundus vesika urinaria dan rectum, masing-masing ruangan berbentuk piramid. Permukaan anterior berhubungan dengan fundus vesika urinaria. Permukaan posterior terletak di atas rektum yang dipisahkan oleh fascia rektovesikalis. Panjang kelenjar ini 5-10 cm, merupakan kelenjar sekresi yang menghasilkan zat mukoid. Zat ini banyak mengandung fruktosa dan zat gizi yang merupakan sumber energi bagi spermatozoa. Vesika seminalis bergabung dengan duktus deferens, penggabungan ini disebut duktus ejakulatorius.

Secara anatomi, Duktus ejakulatorius merupakan gabungan dari duktus deferens dan duktus ekskretorius vesikula seminalis, menuju basis prostat, yang akhirnya bermuara ke dalam kolikulus pada dinding posterior lumen uretra. Panjangnya 2 cm mulai dari lobus medialis basis glandula prostat berjalan ke depan bawah di antara lateralis dari utrikulus prostatikus berakhir ke dalam pinggir urtikulus.

Kelenjar prostat terdiri dari sisi apeks, basis, fascies infero lateral, fascies anterior, dan fascies posterior. Apeks

merupakan bagian paling kaudal dari glandula prostat, letaknya kurang lebih 10 cm dorsal dari simfisis pubis. Basis merupakan bagian proksimal dari glandula prostat, terletak setinggi pertengahan simfisis pubis. Kelenjar prostat ini terletak di bawah kandung kemih, mengelilingi bagian pertama uretra. Fungsinya adalah menghasilkan cairan encer keputihan saat ejakulasi.

Kelenjar bulbo uretra berbentuk bundar, kecil, dan warnanya kuning. Kelenjar ini memiliki panjang 2,5 cm dan fungsinya hampir sama dengan kelenjar prostat. Kelenjar bulbo uretralis dibungkus oleh simpai jaringan ikat tipis yang luarnya terdapat serat-serat otot rangka. Jaringan ikatnya banyak mengandung serat elastin, serat otot rangka, dan serat otot polos. Kelenjar bulbo uretra terdapat tepat dibawah prostat. Kelenjar ini adalah kelenjar tubulo-alveolar kompleks dan menghasilkan sekret kental, bersifat alkali dan terang.

C. Organ Reproduksi Pada Wanita

Reproduksi dimulai dengan perkembangan ovum di dalam ovarium. Satu ovum dikeluarkan dari folikel ovarium masuk ke dalam rongga abdomen pada pertengahan daur seksual setiap bulan. Ovum ini kemudian berjalan melewati salah satu tuba fallopi menuju uterus, dan jika sudah dibuahi oleh sperma, akan tertanam dalam uterus, tempat di mana ovum akan berkembang menjadi janin, plasenta, dan membran janin.

Peran wanita dalam reproduksi lebih rumit dari pada peran pria. Fungsi esensial sistem reproduksi wanita mencakup hal-hal berikut yaitu (1) membentuk ovum (*oogenesis*) (2) menerima sperma (3) mengangkut sperma dan ovum ke tempat penyatuan (*fertilisasi*, atau *konsepsi* atau pembuahan) (4) memelihara janin yang sedang tumbuh sampai janin dapat bertahan hidup di dunia luar (*gestasi*, atau *kehamilan*),

mencakup pembentukan *plasenta*, organ pertukaran antara ibu dan janinnya (5) melahirkan bayi (persalinan, *partus*) serta memberi makan bayi setelah lahir dengan menghasilkan susu (*laktasi*).

Oogenesis berlangsung melalui proses replikasi dan pembelahan kromosom. Sel germinativum primordial yang belum berdiferensiasi di ovarium janin (oogonia) membelah secara mitosis untuk menghasilkan 6 juta sampai 7 juta oogonia. Proses ini dimulai dengan pembentukan oosit primer dan folikel primer yang mengandung jumlah diploid 46 kromosom replikasi. Selama ini oosit primer berada dalam keadaan *meiotic arrest* (penghentian proses miosis) selama bertahun-tahun sampai sel ini dipersiapkan untuk ovulasi. Tepat sebelum ovulasi, oosit primer yang nukleusnya mengalami *meiotic arrest* selama bertahun-tahun segera menyelesaikan pembelahan miosis pertamanya. Pembelahan ini menghasilkan dua sel anak, masing-masing menerima set haploid 23 kromosom ganda. Tahap ini dinamakan tahap pembentukan oosit sekunder dan folikel sekunder. Setelah terbentuk oosit sekunder maka terbentuklah ovum matang yang diovasulasikan dan dibuahi. Ovum yang berhasil dibuahi oleh sperma dan berkembang menjadi janin sampai menjadi individu baru (bayi). Kesemua proses ini merupakan peran dari organ reproduksi wanita.

D. Organ Reproduksi Bagian Luar dan Dalam

Alat reproduksi wanita terdiri dari traktus genitalis yang terletak dalam rongga panggul kecil. Alat kelamin luar terdiri dari mons pubis, labio mayora (bibir besar), labio minora (bibir kecil), klitoris, vestibulum vagina, himen (selaput darah), orifisium vagina, bulbovestibularis (bulbus vaginalis), dan glandula vestibularis (Bartolini). Alat kelamin internal terdiri dari vagina, uterus, tuba falopi (uterin) dan ovarium.

Mons pubis atau mons veneris adalah lapisan lemak di bagian anterior simfisis os pubis. Jumlah jaringan lemak bertambah pada masa pubertas dan berkurang setelah menopause. Setelah dewasa, yaitu masa pubertas daerah ini mulai ditumbuhi rambut pubis yang kasar.

Labia mayora merupakan organ yang terdiri atas dua lipatan yang memanjang berjalan ke kaudal dan dorsal dari mons pubis dan keduanya menutup rima pudendi (pudendal cleft). Permukaan dalamnya licin dan tidak mengandung rambut. Kedua labio mayora dibagian ventral menyatu dan terbentuk komisura anterior. Tampak luar labio mayora terlihat dilapisi oleh kulit yang mengandung banyak kelenjar lemak dan tertutup oleh rambut setelah pubertas, bagian dalam yang permukaannya licin karena dikelilingi oleh folikel sebasseae. Labia mayora juga mengandung akhir dari ligamen teres uteri, beberapa berkas otot polos, saraf-saraf, pembuluh-pembuluh darah, dan pembuluh limfa.

Berbeda dengan labio mayora, labio minora tidak mengandung lemak dan kulit yang menutupnya, memiliki karakteristik licin/halus, basah, dan agak kemerahan. Labia minora tertutup oleh labia mayora, kecuali pada anak-anak dan pada wanita setelah menopause, dimana pada labia mayora berisi lebih sedikit lemak dan lebih kecil.

Labia minora merupakan organ yang terdiri atas dua lipatan kulit kecil terletak diantara kedua labia mayora pada kedua sisi introitus vaginae. Kedua labium minus membatasi sebuah celah yang disebut sebagai vestibulum vaginae. Labio minora ke arah dorsal berakhir dengan bergabung pada aspectus medialis labia mayora dan biasanya berhubungan satu sama lain berupa suatu lipatan transversal yang disebut frenulum labii. Sementara itu, ke depan, masing-masing labium minus terbagi menjadi bagian lateral dan medial. Pars lateralis kiri dan kanan bertemu membentuk sebuah lipatan

dias (menutup) glans klitoridis. Kedua pars medialis kiri dan kanan bergabung dibagian kaudal klitoris membentuk frenulum klitoris.

Klitoris homolog dengan penis pada pria. Klitoris adalah tonjolan kecil yang melingkar berisi jaringan erektile yang sangat sensitif, terdapat dibawah komisura labia anterior dan sebagian tersembunyi diantara ujung anterior labio minora. Banyak mengandung saraf dan mempunyai kemampuan membesar jika dipenuhi darah. Klitoris terletak dorsal dari komissura anterior labia mayora dan hampir keseluruhannya tertutup oleh labia minora. Klitoris terdiri atas (1) korpus kavernosus: mengandung jaringan erektile yang ditutupi oleh lapisan padat dan (2) membran fibrosa: bergabung sepanjang permukaan medial oleh septum pektini formis.

Glandula vestibularis mayor sering disebut juga sebagai kelenjar bartholini, merupakan kelenjar yang bentuknya bulat/ ovoid yang ada sepanjang dan terletak dorsal dari bulbus vestibuli atau tertutup oleh bagian posterior bulbus vestibuli. Organ ini homolog dengan glandula bulbourethralis. Duktus dari masing-masing glandula bermuara pada cekungan antara labio minora dengan batas perlekatan hymen. Selain itu, organ ini mengeluarkan lendir ke dalam vestibulum vagina untuk melembapkan labia minora dan mayora, serta vestibulum vagina. Sebagian besar terisi oleh lemak. Setelah pubertas, kulit di atasnya tertutup rambut kasar.

Secara anatomi, uterus merupakan organ berongga dengan dinding muscular tebal, terletak di dalam kavum pelvis minor (true pelvis) antara veksika urinaria dan rectum. Ke arah kaudal, kavum uteri berhubungan dengan vagina. Uterus merupakan organ dimana ovum yang telah dibuahi (fertilized ovum) secara normal tertanam (nidasi) dan tempat normal dimana organisme selanjutnya tumbuh dan mendapat makanan sampai ia lahir.

Uterus terdiri dari: (1) fundus uteri (dasar rahim), ditutupi oleh peritonium, berhubungan dengan fescies vesikalis dan permukaan internalis. (2) korpus uteri yaitu tempat berkembangnya janin. (3) serviks uteri merupakan bagian uterus yang menyempit, berbentuk kerucut dengan apeks yang menjurus ke bawah dan ke belakang dan sedikit melebar ke pertengahan.

Secara fisiologis, posisi uterus mengarah ke ventro kranial yang disebut anteversi dan antefleksi. Anteversi berarti sumbu panjang vagina membentuk sudut kurang lebih 90 derajat menghadap ke ventral, sedangkan arah sebaliknya disebut retroversi. Posisi antefleksi bila sumbu panjang korpus dan sumbu panjang serviks membentuk sudut kurang lebih 170 derajat dan korpus menghadap ke arah ventral, arah sebaliknya disebut retrofleksi. Posisi ini mudah sekali berubah terutama bila vesika urinaria ataupun intestinum distensi (karena berisi penuh) posisinya retroversi meskipun vesika urinaria kosong dan korpusnya menghadap ke dorsal. Pada wanita yang belum pernah hamil/melahirkan (nullipara) dinding uterusnya tebal bentuk pipih antero posterior (dinding anterior berimpit dengan dinding posterior).

Secara anatomi, vagina merupakan organ yang berbentuk tebung dan membentuk sudut kurang lebih 60 derajat dengan bidang horizontal. Namun, posisi ini berubah sesuai dengan isi vesika urinaria. Dinding ventral vagina yang ditembus serviks panjangnya 7,5 cm, sedangkan panjang dinding posterior kurang lebih 9 cm. dinding anterior dan posterior ini tebal dan dapat renggang (distensibile). Dinding lateralnya di bagian kranial melekat pada ligamen cardinal, dan dibagian kaudal melekat pada diafragma pelvis sehingga lebih rigid dan terviksasi.

Secara fisiologis vagina merupakan organ kopulasi wanita, juga merupakan jalan lahir dan menjadi duktus

ekskretorius dari hasil menstruasi. Dilapisi epitel berlapis gepeng, tidak terdapat kelenjar, namun permukaanya tetap basah oleh sekret dari serviks. Vagina bagian atas berhubungan dengan uterus, sedangkan bagian kaudal membuka pada vestibulum vaginae pada lubang yang disebut introitus vaginae.

Vagina memiliki dinding ventral dan dinding dorsal yang elastis. Dilapisi epitel skuamosa berlapis, yang berubah mengikuti siklus haid. Pada anak kecil, epitel ini amat tipis sehingga mudah terkena infeksi. Fungsi vagina untuk mengeluarkan ekskresi uterus pada haid, untuk jalan lahir dan untuk kopulasi (persetubuhan). Bagian atas vagina terbentuk dari duktus mulleri, bawah dari sinus urogenitalis. Batas dalam secara klinis yaitu fornix anterior, posterior, dan lateralis di sekitar serviks uteri. Titik grayenberg merupakan titik daerah sensorik di sekitar anterior dinding vagina, sangat sensitif terhadap stimulasi orgasmus vagina.

Secara anatomis tuba uterine atau sering disebut tuba fallopi, memiliki panjang masing-masing tuba kurang lebih 10 cm, dapat dibagi atas 4 bagian (dari uterus ke arah ovarium).

Secara fisiologis tuba fallopi yang terdiri atas dua buah, di kiri dan kanan yang berfungsi membawa ovum dari ovarium ke kavum uteri dan mengalirkan spermatozoa dalam arah berlawanan. Fertilisasi biasanya terjadi di dalam tuba uterine terutama pada ampulla. Empat bagian tuba fallopi dapat diuraikan yaitu terdiri dari: (1) pars interstisialis, bagian tuba yang terdapat di uterus, (2) pars isthmica/isthmus yaitu bagian yang sempit pada sudut antara uterus dan tuba, (3) pars ampullaris/ampulla, bagian yang membentuk saluran yang lebar meliputi ovarium dan (4) infundibulum yaitu bagian ujung tuba yang terbuka mempunyai umbul yang disebut fimbriae, melekat pada ovarium untuk menangkap telur yang dilepas oleh ovarium menuju tuba.

Bagian luar tuba diliputi oleh peritoneum viserale, merupakan bagian dari ligamentum latum. Otot dinding tuba terdiri dari muskulus longitudinal dan muskulus sirkuler. Bagian dalam terdapat mukosa berlipat-lipat ke arah longitudinal terutama pada bagian ampulla. Mukosa mempunyai serabut yang mengeluarkan sekresi (getah) yang menimbulkan arus ke arah kavum uteri. Tuba uterin mengarah ke lateral sejauh ekstremitas inferior, dari ovarium naik sepanjang tepi mesovarium, akhirnya turun dan berhubungan dengan margo posterior dan fasis medialis dari ovarium, serta berhubungan dengan fimbriae tuba uterina.

Secara anatomi ukuran dan bentuk ovarium tergantung umur dan stadium dari siklus menstruasi. Bentuk ovarium sebelum ovulasi adalah ovoid dengan permukaan licin dan berwarna merah muda keabu-abuan. Setelah berkali-kali mengalami ovulasi, maka permukaan ovarium tidak rata atau tidak licin lagi karena banyaknya jaringan perut (cicatrix) dan warnanya berubah jadi abu-abu. Pada dewasa muda ovarium berbentuk ovoid pipih dengan panjang kurang lebih 4 cm, lebar kurang lebih 2 cm, tebal kurang lebih 1 cm, dan beratnya kurang lebih 7 gram.

Secara fisiologis, ovarium merupakan organ eksokrin (sitogenik) dan endokrin. Ovarium disebut dengan eksokrin karena mampu menghasilkan ovum pada saat pubertas, sedangkan disebut organ kelenjar endokrin karena menghasilkan hormon estrogen dan progesteron yang mempengaruhi pertumbuhan genitalia eksternal dan siklus menstruasi. Posisi ovarium pada wanita yang belum pernah hamil terletak pada dinding lateral pelvis setinggi SIAS (pada fossa ovarika). Posisi ovarium tergantung pada posisi uterus karena keduanya dihubungkan oleh ligament-ligamen. Bila uterus membesar misalnya pada waktu hamil, ovarium juga ikut terangkat ke atas dan akan kembali ke posisi semula setelah melahirkan.

Ovarium terletak pada daerah pinggang sebelah kiri dan kanan. Di dalam ovarium terdapat kelenjar endokrin penghasil hormon dan sel tubuh sebagai penghasil ovum (sel telur). Kelenjar yang terletak di kanan kiri uterus terikat oleh ligmentum uterus. Ovarium berhubungan dengan uterus melalui ligmentum ovarii propium yang terletak pada lapisan belakang ligmentum latum. Sebagian besar ovarium terletak pada intra peritoneal dan tidak di lapisi oleh peritoneum.

Bagian ovarium yang berada di dalam kavum peritoneal (cavum peritonei) dilapisi oleh epitel kubik silinder yang disebut juga epitelium germinativum. Pada bagian bawah epitel ini terdapat tunika albuginea dan dibawah tunika albuginea ditemukan lapisan yang banyak terdapat folikel.

Setiap bulan folikel berkembang menjadi folikel de graaf. Folikel ini merupakan bagian ovarium yang terpenting, dapat di temukan di korteks ovarii. Folikel yang matang terisi dengan liquor folikuli yang mengandung estrogen dan siap berovulasi. Saat pebertas terdapat lebih kurang 400 ribu folikel primordial dalam ovarium. Bila setiap bulan ada satu ovum yang matang, maka selama masa produktif seorang wanita dapat mengeluarkan atau menghabiskan 400-450 folikel, sisanya akan mengalami atresia.

Folikel tumbuh atas rangsangan FSH (follicle stimulating hormone) dari hipofisis anterior. Umumnya belasan folikel tumbuh setiap bulanya, namun hanya satu yang mencapai kematangan sempurna (folikel graaf) dan dilepaskan (ovulasi). Bersamaan waktu hipofisis juga mengeluarkan LH (luteinizing hormone) yang membantu FSH pada tahap akhir pertumbuhan dan ovulasi. Ovum yang dilepaskan dari permukaan ovarium ditangkap oleh fimbriae dan dimasukkan ke dalam lumen tuba uterine. Ovulasi terjadi 14 hari sebelum menstruasi berik

BAB 7

PEWARISAN SIFAT

A. Pengertian Pewarisan Sifat

Penurunan atau pewarisan sifat yang juga dikenal dengan istilah hereditas adalah proses penurunan sifat dari kedua orang tua kepada keturunannya (anak). Ilmu yang mempelajari tentang pewarisan sifat disebut Genetika.

Beberapa abad kemudian, ide-ide baru mengenai pewarisan sifat belum mengalami perkembangan yang berarti, hingga ditemukannya mikroskop, mulai dari mikroskop sederhana yang ditemukan oleh Antoni van Leeuwenhoek hingga mikroskop elektron.

Pada akhir abad ke-17, Jan Swammerdam yang merupakan ilmuwan dari Belanda, sebelumnya telah melakukan percobaan dan menemukan telur dan korpuskel darah merah serangga, serta Charles Bonnet yang merupakan ilmuwan dari Swiss menggunakan mikroskop dan mengembangkan teori preformasi, menyatakan adanya struktur miniatur manusia di dalam kepala spermatozoa yang disebut homunkulus.

Pada tahun 1600-an beberapa ilmuwan mulai tidak mempercayai teori preformasi. Teori preformasi terbantahkan oleh hasil riset William Harvey yang merupakan ilmuwan pertama kali yang menyatakan teori epigenesis. Teori epigenesis menyatakan bahwa bahan-bahan dalam gamet akan menghasilkan organisme dewasa melalui serangkaian tahapan perkembangan, dibandingkan tumbuh kembangnya struktur miniatur dewasa yang telah ada dalam gamet (teori preformasi). Bahan-bahan yang terdapat di dalam gamet selanjutnya akan mengarahkan perkembangan menjadi bentuk dewasa, namun tahapan perjalanan perkembangan tersebut masih belum dapat dijelaskan

Teori epigenesis selanjutnya dikembangkan oleh beberapa ilmuwan antara lain Kaspar Friedrich Wolff pada abad ke-18, dan Karl Ernst von Baer pada abad ke-19. Teori epigenesis menyatakan bahwa sel-sel kelamin sebagian besar disusun oleh materi organik homogen yang bukan merupakan sel-sel tubuh lainnya, yang selanjutnya dapat mengalami perkembangan. Untuk membuktikan teori epigenesis, Von Baer melakukan percobaan dengan melihat perkembangan embrio ayam. Selama proses perkembangan embrio ayam tersebut diamati perkembangan mulai dari telur yang telah dibuahi menjadi janin dan selanjutnya perkembangan yang sempurna sebelum dilahirkan. Dalam proses perkembangan embrio tidak hanya organ yang menjadi sempurna namun juga pewarisan sifat dari induknya melalui serangkaian instruksi yang berisi informasi genetik yang terdapat di dalam gen (DNA).

B. Gen dan Kromosom

Meskipun genetika berkembang selama abad kedua puluh, asalnya berakar pada karya Gregor Mendel, seorang biarawan Moravia yang hidup di abad kesembilan belas. Mendel melakukan penelitian dan mempelajari pewarisan berbagai sifat pada kacang kapri, yang ditanam di taman biara. Metode yang digunakan Mendel melibatkan persilangan tanaman yang menunjukkan sifat yang berbeda, misalnya tanaman pendek disilangkan dengan tanaman tinggi untuk melihat bagaimana sifat tersebut diwariskan kepada keturunannya. Analisis cermat Mendel memungkinkannya untuk membedakan pola pewarisan, yang membuatnya mendalilkan keberadaan faktor keturunan yang bertanggung jawab atas sifat yang dipelajarinya dan menyebut faktor-faktor ini sebagai gen.

Mendel mempelajari beberapa gen pada tanaman kacang kapri. Setiap gen dikaitkan dengan sifat yang berbeda, misalnya tinggi tanaman, warna bunga, dan bentuk biji.

Mendel menemukan gen ini ada dalam berbagai bentuk, yang sekarang disebut alel. Salah satu bentuk gen untuk tinggi tanaman, misalnya memungkinkan tanaman kacang kapri tumbuh lebih dari 2 m; bentuk lain dari gen ini membatasi pertumbuhannya hingga sekitar 0,5 meter.

Mendel mengusulkan bahwa tanaman kacang kapri memiliki dua salinan dari setiap gen. Salinan ini mungkin sama atau berbeda. Selama reproduksi, salah satu salinan secara acak dimasukkan ke dalam setiap gamet sel kelamin. Gamet betina (sel telur) bersatu dengan gamet jantan (sperma) pada saat pembuahan untuk menghasilkan sel tunggal, yang disebut zigot, yang kemudian berkembang menjadi tanaman kacang kapri baru. Pengurangan salinan gen dari dua menjadi satu selama pembentukan gamet dan pemulihan berikutnya dari dua salinan selama pembuahan mendasari aturan pewarisan yang ditemukan Mendel.

Mendel menekankan bahwa faktor pewarisan sifat pada keturunan disebut gen. Alel yang berbeda dari suatu gen dapat disatukan di tanaman yang sama melalui persilangan (hibridisasi) dan kemudian dapat dipisahkan satu sama lain selama produksi gamet. Oleh karena itu, keberadaan alel dalam suatu tanaman tidak mengganggu integritasnya. Mendel juga menemukan bahwa alel dari gen yang berbeda diwariskan secara independen satu sama lain.

Setiap kromosom terdiri dari satu molekul DNA untai ganda ditambah bermacam-macam protein; RNA juga dapat dikaitkan dengan kromosom. Sel prokariotik biasanya hanya memiliki satu kromosom, meskipun terkadang juga memiliki banyak molekul DNA yang lebih kecil yang disebut plasmid. Kebanyakan sel eukariotik mengandung beberapa kromosom yang berbeda, misalnya sel sperma manusia memiliki jumlah 23. Kromosom sel eukariotik juga biasanya lebih besar dan lebih kompleks daripada sel prokariotik. Molekul DNA dalam kromosom prokariotik dan plasmid berbentuk lingkaran,

seperti juga sebagian besar molekul DNA yang ditemukan di mitokondria dan kloroplas sel eukariotik. Sebaliknya, molekul DNA yang ditemukan dalam kromosom di inti sel eukariotik bersifat linier.

Beberapa sel eukariotik memiliki dua salinan dari setiap kromosom. Kondisi ini disebut sebagai keadaan diploid, adalah karakteristik sel dalam tubuh eukariota yang disebut sel somatik. Sebaliknya, sel-sel kelamin atau gamet biasanya hanya memiliki satu salinan dari setiap kromosom, yang disebut keadaan haploid. Gamet diproduksi dari sel diploid yang terletak di jalur germinal, yang merupakan jaringan reproduksi suatu organisme. Pada beberapa makhluk hidup, seperti tanaman, garis germinal menghasilkan sel sperma dan sel telur. Pada makhluk hidup lain, seperti manusia, menghasilkan satu jenis gamet atau yang lain. Ketika gamet jantan dan betina bersatu selama pembuahan, keadaan diploid terbentuk kembali, dan zigot yang dihasilkan berkembang menjadi organisme baru. Selama perkembangan hewan, sejumlah kecil sel disisihkan untuk membentuk garis germinal. Semua gamet yang diproduksi berasal dari beberapa sel ini. Sel-sel yang tersisa membentuk jaringan somatik hewan.

Pada tumbuhan, perkembangan kurang ditentukan. Jaringan yang diambil dari bagian tanaman, misalnya batang atau daun dapat digunakan untuk menghasilkan seluruh tanaman, termasuk organ reproduksi. Jadi, pada tumbuhan perbedaan antara jaringan somatik dan jaringan germinal tidak begitu jelas seperti pada hewan. Penemuan bahwa gen terletak di dalam kromosom dilakukan pada dekade pertama abad kedua puluh.

C. Hereditas Menurut Mendel

Kehidupan Gregor Johann Mendel (1822–1884) berlangsung di pertengahan abad kesembilan belas. Orangtuanya adalah petani di Moravia, yang saat itu

merupakan bagian dari Kekaisaran Habsburg di Eropa Tengah. Pendidikan pedesaan mengajarnya tanaman dan peternakan dan menginspirasi minat pada alam. Pada usia 21 tahun, Mendel meninggalkan pertanian dan memasuki biara Katolik di kota Brunn (sekarang, Brno di Republik Ceko). Pada tahun 1847 Mendel ditahbiskan menjadi imam, dengan menggunakan nama Gregor. Mendel kemudian mengajar di sekolah menengah setempat, meluangkan waktu antara tahun 1851 dan 1853 untuk belajar di Universitas Vienna. Setelah kembali ke Brunn, Mendel melanjutkan hidupnya sebagai pengajar dan memulai eksperimen genetik yang akhirnya membuatnya terkenal.

Mendel melakukan percobaan dengan beberapa spesies tanaman taman, dan bahkan mencoba beberapa eksperimen dengan lebah madu. Keberhasilan terbesarnya adalah melakukan percobaan dengan tanaman kacang kapri. Mendel menyelesaikan percobaannya dengan menggunakan kacang kapri pada tahun 1864. Pada tahun 1865, Mendel mempresentasikan hasil percobaannya di hadapan Natural History Society, dan tahun berikutnya menerbitkan laporan terperinci dalam prosiding umum. Sayangnya, makalah ini tersimpan rapat dalam ketidakjelasan hingga tahun 1900, ketika ditemukan kembali oleh tiga ahli botani yaitu Hugo de Vries di Belanda, Carl Correns di Jerman, dan Eric von Tschermak-Seysenegg di Austria. Ketiga ahli ini mencari literatur ilmiah untuk data yang mendukung teorinya sendiri tentang hereditas, masing-masing menemukan bahwa Mendel telah melakukan analisis yang rinci dan cermat 35 tahun sebelumnya. Ide Mendel dengan cepat diterima, terutama melalui upaya promosi dari seorang ahli biologi Inggris yang bernama William Bateson. Pendukung penemuan Mendel ini menciptakan istilah baru untuk mendeskripsikan studi tentang hereditas: genetika, dari kata Yunani yang berarti “menghasilkan”.

Salah satu alasan kesuksesan Mendel adalah pemilihan materi eksperimen dengan baik. Kacang kapri (*Pisum sativum*) mudah ditanam di kebun percobaan atau dalam pot di rumah kaca. Bunga kacang kapri mengandung organ jantan dan betina. Organ jantan disebut kepala sari, menghasilkan serbuk sari yang mengandung sel sperma, dan organ betina yang disebut ovarium, menghasilkan sel telur.

Salah satu kekhasan reproduksi kacang adalah kelopak bunganya menutup rapat, mencegah butiran serbuk sari masuk atau keluar. Ini memberlakukan sistem pembuahan sendiri, di mana gamet jantan dan betina dari bunga yang sama bersatu satu sama lain untuk menghasilkan biji. Hasilnya, setiap galur kacang kapri memiliki tingkat pembuahan yang sangat tinggi, menampilkan sedikit variasi genetik dari satu generasi ke generasi berikutnya. Karena keseragaman ini, maka dikatakan bahwa strain seperti itu adalah perkembangbiakan sejati.

Pada awalnya, Mendel memperoleh banyak varietas kacang kapri yang bersifat perkembangbiakan sejati, masing-masing dibedakan oleh karakteristik tertentu. Di satu galur, tinggi tanaman kacang kapri dapat mencapai 2, sedangkan di galur lain hanya berukuran 0,5 m. Varietas lain menghasilkan warna biji hijau, dan satu lagi menghasilkan warna biji kuning. Sifat kontras tersebut dimanfaatkan Mendel untuk mengetahui bagaimana ciri-ciri tanaman kacang kapri dapat diwariskan. Fokusnya pada perbedaan tunggal antara strain kacang kapri ini digunakan Mendel untuk mempelajari pewarisan satu sifat pada satu waktu, misalnya tinggi tanaman. Ahli biologi lain telah mencoba mengikuti pewarisan banyak sifat secara bersamaan, tetapi karena hasil eksperimen tersebut rumit, maka tidak dapat menemukan prinsip dasar apa pun tentang hereditas. Mendel berhasil ketika para ahli biologi ini gagal karena dia memusatkan perhatiannya pada perbedaan kontras antara tanaman yang sebaliknya sama yaitu tinggi tanaman

tinggi versus pendek, warna biji hijau versus biji kuning, dan seterusnya. Selain itu, Mendel menyimpan catatan yang cermat tentang eksperimen yang dilakukannya.

D. Hukum Pewarisan Sifat Mendel

Dalam satu percobaan, Mendel melakukan persilangan silang, yaitu disilangkan antara tinggi tanaman kacang kapri tinggi dan kerdil (pendek) untuk menyelidiki bagaimana ketinggian diwariskan. Mendel dengan hati-hati mengeluarkan kepala sari dari satu varietas sebelum serbuk sari matang dan kemudian menerapkan serbuk sari dari varietas lain ke kepala putik, organ lengket di atas putik yang mengarah ke ovarium. Benih yang dihasilkan dari persilangan silang ini ditanam tahun berikutnya, menghasilkan keturunan yang memiliki tinggi tanaman yang sama. Mendel memperoleh tanaman tinggi terlepas dari caranya melakukan persilangan (tinggi tanaman jantan tinggi dengan betina kerdil atau tinggi tanaman jantan kerdil dengan betina tinggi); dengan demikian, dua persilangan timbal balik memberikan hasil yang sama. Lebih penting lagi, Mendel mencatat bahwa karakteristik tinggi tanaman yang kerdil tampaknya telah menghilang pada keturunan hasil persilangan, karena semua tinggi tanaman keturunan adalah tinggi. Untuk mempelajari susunan pewarisan dari keturunan dengan tinggi tanaman yang tinggi ini, Mendel melakukan persilangan sendiri (resiprok) yaitu proses alami yang terjadi pada kacang kapri. Ketika Mendel mengamati keturunannya, Mendel menemukan bahwa tinggi tanaman keturunan terdiri dari tanaman tinggi dan kerdil. Faktanya, di antara 1.064 keturunan yang disilangkan Mendel di kebunnya, 787 tanaman tinggi dan 277 tanaman kerdil dengan perbandingan atau rasio sebesar 3: 1. Mendel terpesona oleh kemunculan kembali karakteristik tinggi tanaman yang kerdil pada keturunan setelah dilakukan persilangan sendiri. Hal ini menjadi jelas bahwa persilangan yang dilakukan Mendel

dengan menyilangkan varietas tanaman tinggi dan tanaman kerdil memiliki kemampuan untuk menghasilkan keturunan tanaman kerdil meskipun induknya memiliki tinggi tanaman yang tinggi. Mendel menyimpulkan bahwa keturunan ini membawa faktor genetik laten untuk tinggi tanaman yang kerdil, yang ditutupi oleh ekspresi faktor tanaman tinggi lainnya. Mendel mengatakan bahwa faktor laten dapat bersifat resesif dan faktor yang diekspresikan adalah dominan. Mendel juga menyimpulkan bahwa faktor resesif dan dominan ini terpisah satu sama lain ketika tanaman keturunan berkembang biak. Hal ini memungkinkannya untuk menjelaskan kemunculan kembali karakteristik tinggi tanaman yang kerdil pada generasi berikutnya.

Mendel melakukan percobaan serupa untuk mempelajari pewarisan enam sifat lainnya: bentuk biji, warna biji, bentuk buah, warna buah, warna bunga, dan posisi atau letak bunga. Dalam setiap percobaan yang dilakukan Mendel disebut persilangan monohibrid karena satu sifat sedang dipelajari, Mendel mengamati bahwa hanya satu dari dua karakteristik kontras yang muncul pada keturunan dan bahwa ketika keturunan ini membuahi sendiri, menghasilkan dua jenis keturunan, masing-masing menyerupai satu dari tanaman di persilangan asli (induknya). Lebih lanjut, Mendel menemukan bahwa keturunan ini secara konsisten muncul dalam perbandingan 3: 1. Dengan demikian, setiap sifat yang dipelajari Mendel tampaknya dikendalikan oleh faktor yang diwariskan yang ada dalam dua bentuk, yang satu dominan, yang lain resesif. Faktor-faktor ini sekarang disebut gen, kata yang diciptakan oleh ahli tanaman Denmark yang bernama Wilhelm Johannsen pada tahun 1909; bentuk dominan dan resesifnya disebut alel, dari kata Yunani yang berarti “satu sama lain”. Alel adalah bentuk alternatif gen.

Hubungan numerik reguler yang diamati Mendel pada persilangan ini membawanya ke kesimpulan penting lainnya: bahwa gen datang berpasangan. Mendel mengusulkan bahwa masing-masing strain induk yang digunakan dalam eksperimennya membawa dua salinan gen yang identic, dalam terminologi modern, disebut diploid dan homozigot. Namun, selama produksi gamet, Mendel mengusulkan agar kedua salinan ini direduksi menjadi satu; artinya, gamet yang muncul dari meiosis membawa satu salinan gen, dalam terminologi modern disebut haploid.

Mendel menyadari bahwa jumlah gen diploid akan dipulihkan ketika sperma dan sel telur bersatu membentuk zigot. Selanjutnya Mendel memahami bahwa jika sperma dan sel telur berasal dari tanaman yang berbeda secara genetik dilakukan persilangan maka zigot akan mewarisi dua alel yang berbeda, satu dari induk betina dan satu dari induk jantan. Keturunan seperti ini dikatakan heterozigot. Mendel menyadari bahwa alel berbeda yang ada dalam heterozigot harus hidup berdampingan meskipun yang satu dominan dan yang lainnya resesif, dan bahwa masing-masing alel ini akan memiliki kesempatan yang sama untuk memasuki gamet ketika heterozigot bereproduksi. Lebih jauh, Mendel menyadari bahwa pembuahan acak dengan populasi gamet yang bercampur, setengah membawa alel dominan dan setengahnya membawa alel resesif akan menghasilkan beberapa zigot di mana kedua alelnya resesif. Dengan demikian, Mendel dapat menjelaskan kemunculan kembali karakteristik resesif pada keturunan tanaman hasil persilangan sendiri.

Mendel menggunakan simbol untuk merepresentasikan faktor keturunan yang didalilkan yang merupakan sebuah terobosan metodologis. Dengan menggunakan simbol, Mendel dapat menggambarkan fenomena keturunan secara jelas dan ringkas, serta dapat menganalisis hasil persilangan secara

matematis. Mendel bahkan bisa membuat prediksi tentang hasil persilangan di masa depan. Meskipun praktik penggunaan simbol untuk menganalisis masalah genetika telah banyak disempurnakan sejak zaman Mendel, prinsip dasarnya tetap sama. Simbol mewakili gen (atau, lebih tepatnya, alelnya), dan gen dapat dimanipulasi sesuai dengan aturan pewarisan yang ditemukan Mendel. Manipulasi ini adalah inti dari analisis genetika formal.

Dua varietas persilangan sejati antara tinggi tanaman yang tinggi dan kerdil, homozigot untuk alel berbeda dari gen yang mengendalikan tinggi tanaman. Alel untuk tanaman kerdil bersifat resesif dan dilambangkan dengan huruf kecil *d*; alel untuk tanaman tinggi bersifat dominan dan dilambangkan dengan huruf besar yang sesuai *D*. Dalam genetika, huruf yang dipilih untuk menunjukkan alel gen biasanya diambil dari kata yang menggambarkan sifat resesif (*d*, untuk tanaman kerdil). Jadi, strain tanaman kacang kapri tinggi dan kerdil dilambangkan dengan *DD* dan *dd*. Konstitusi alel dari setiap strain dikatakan sebagai genotipenya. Sebaliknya, penampilan fisik setiap strain atau karakteristik tanaman tinggi atau tanaman kerdil disebut sebagai fenotipenya.

Sebagai strain *parental* atau induk, tanaman kacang kapri yang tinggi dan kerdil membentuk generasi P. Keturunannya disebut sebagai generasi *filial* pertama disingkat F_1 , dari kata Latin yang berarti “anak laki-laki” atau “anak perempuan”. Karena setiap induk memberikan kontribusi yang sama kepada keturunannya, maka genotipe tanaman F_1 haruslah *Dd*; artinya, bersifat heterozigot untuk alel gen yang mengontrol tinggi tanaman. Fenotipenya, adalah sama dengan dari strain induk *DD* karena *D* bersifat dominan atas *d*. Selama meiosis, tanaman kacang kapri F_1 ini menghasilkan dua jenis gamet, *D* dan *d*, dengan proporsi yang sama. Tidak ada alel yang berubah karena hidup berdampingan dengan yang lain

dalam genotipe heterozigot; melainkan terpisahkan, atau segregasi, satu sama lain selama pembentukan gamet. Proses pemisahan alel ini mungkin merupakan penemuan terpenting yang dibuat Mendel.

Setelah persilangan sendiri (resiprok), dua jenis gamet yang diproduksi oleh heterozigot dapat bersatu dalam semua cara yang memungkinkan. Jadi, persilangan sendiri menghasilkan empat jenis zigot: DD , Dd , dD , dan dd . Namun karena dominasinya, ketiga genotipe tersebut memiliki fenotipe yang sama. Jadi, pada generasi berikutnya, yang disebut F_2 , tanamannya tinggi atau kerdil, dengan perbandingan atau rasio 3:1. Mendel mengambil analisis ini untuk selangkah lebih maju. Tanaman F_2 disilang sendiri untuk menghasilkan F_3 . Semua tanaman F_2 kerdil hanya menghasilkan keturunan kerdil, menunjukkan bahwa tanaman kerdil bersifat homozigot resesif untuk alel d , tetapi tanaman F_2 yang tinggi terdiri dari dua kategori. Sekitar sepertiga dari tanaman tinggi hanya menghasilkan keturunan tanaman yang tinggi sedangkan dua pertiga lainnya menghasilkan campuran keturunan tanaman yang tinggi dan kerdil. Mendel menyimpulkan bahwa sepertiga tanaman yang dihasilkan adalah tanaman tinggi adalah homozigot dominan DD dan dua pertiga yang bersegregasi adalah tanaman tinggi heterozigot Dd . Rasio $1/3$ dan $2/3$, persis seperti prediksi analisisnya karena di antara tanaman F_2 yang tinggi, genotipe DD dan Dd terjadi dengan rasio 1:2.

Analisis Mendel tentang persilangan sendiri dan persilangan monohibrid lainnya dengan menyatakan dua prinsip utama yang ditemukan, dapat diringkaskan sebagai berikut:

1. **Prinsip Dominansi:** *pada individu heterozigot, satu alel dapat menyembunyikan keberadaan alel lainnya.* Prinsip ini adalah pernyataan tentang fungsi genetik.

Beberapa alel ternyata mengontrol fenotipe bahkan ketika alel ada dalam satu salinan.

2. **Prinsip Segregasi:** *pada individu heterozigot, dua alel yang berbeda terpisahkan satu sama lain selama pembentukan gamet.* Prinsip ini adalah pernyataan tentang pewarisan genetik dari induk kepada keturunannya. Alel diwariskan secara berkelanjutan ke generasi berikutnya, bahkan jika alel ada dengan alel yang berbeda dalam heterozigot. Dasar biologis untuk fenomena ini adalah pemasangan dan pemisahan selanjutnya dari kromosom homolog selama meiosis.

Mendel juga melakukan percobaan dengan tanaman yang dibedakan dalam dua sifat (dihybrid). Mendel menyilangkan tanaman yang menghasilkan warna biji kuning dan bentuk biji bulat dengan tanaman yang menghasilkan bentuk biji keriput dan warna biji hijau. Tujuan percobaan adalah untuk melihat apakah dua sifat biji, yaitu warna dan bentuk, diturunkan secara independen. Karena biji F_1 semuanya berwarna kuning dan berbentuk bulat, maka alel untuk kedua ciri ini bersifat dominan. Mendel menumbuhkan tanaman dari karakter warna biji kuning dan berbentuk bulat ini dan membiarkannya membuahi sendiri (persilangan sendiri). Selanjutnya Mendel mengklasifikasikan biji F_2 dan menghitungnya berdasarkan fenotipe.

Empat kelompok fenotipe di F_2 mewakili semua kemungkinan kombinasi sifat warna dan bentuk biji. Dua kelompok: warna biji kuning, bentuk biji bulat dan warna biji hijau, bentuk biji keriput yang menyerupai galur induk. Dua lainnya: warna biji hijau, bentuk biji bulat dan warna biji kuning, bentuk biji keriput menunjukkan kombinasi sifat baru. Keempat kelompok memiliki rasio 9 warna biji kuning, bentuk biji bulat: 3 warna biji hijau, bentuk biji bulat: 3 warna biji kuning, bentuk biji keriput: 1 warna biji hijau, bentuk biji

keriput. Bagi pikiran Mendel yang berwawasan luas, hubungan numerik ini menyarankan penjelasan sederhana: setiap sifat dikendalikan oleh gen berbeda yang memisahkan dua alel, dan kedua gen itu diwariskan secara independen.

Selanjutnya dianalisis hasil dari dua faktor ini, atau persilangan dihibrid, menggunakan metode Mendel. Ditunjukkan setiap gen dengan huruf, menggunakan huruf kecil untuk alel resesif dan huruf besar untuk dominan. Untuk gen warna biji, dua alelnya adalah g (untuk hijau) dan G (untuk kuning), dan untuk gen bentuk biji adalah w (untuk keriput) dan W (untuk bulat). Strain induk, yang benar-benar berkembang biak, bersifat homozigot dominan; warna biji kuning, bentuk biji bulat adalah $GGWW$ dan untuk biji berwarna hijau, bentuk biji keriput adalah $ggww$.

Gamet haploid yang diproduksi oleh tanaman diploid mengandung satu salinan dari setiap gen. Oleh karena itu, gamet dari tanaman $GGWW$ mengandung satu salinan gen warna biji (alel G) dan satu salinan gen bentuk biji (alel W). Gamet tersebut dilambangkan dengan GW . Dengan alasan yang sama, gamet dari tumbuhan $ggww$ ditulis gw . Persilangan silang kedua jenis gamet ini menghasilkan keturunan F_1 yang heterozigot, dilambangkan dengan $GgWw$, dan fenotipe bentuk biji bulat warna biji kuningnya menunjukkan bahwa alel G dan W dominan.

Prinsip Segregasi memprediksi bahwa keturunan F_1 akan menghasilkan empat genotipe gamet yang berbeda: (1) GW , (2) Gw , (3) gW , dan (4) gw . Jika setiap gen memisahkan alelnya secara independen, maka keempat tipe gamet ini akan muncul sama seringnya; artinya masing-masing akan menjadi 25 persen dari total persentase. Dengan asumsi ini, persilangan sendiri di F_1 akan menghasilkan serangkaian 16 genotipe zigot yang sama seringnya. Hasil akhirnya diperoleh susunan zigot dengan menggabungkan gamet secara sistematis.

Hasil persilangan dicatat adalah fenotipe dari genotipe F_2 ini bahwa G dan W adalah alel dominan. Secara keseluruhan, ada empat fenotipe yang dapat dibedakan, dengan frekuensi relatif yang ditunjukkan oleh jumlah posisi yang ditempatinya. Untuk frekuensi absolut, dapat dibagi setiap angka dengan total sebesar 16: Warna biji kuning, bentuk biji bulat : 9/16
Warna biji kuning, bentuk biji keriput : 3/16
Warna biji hijau, bentuk biji bulat : 3/16
Warna biji hijau, bentuk biji keriput : 1/16.

Analisis ini didasarkan pada dua asumsi: (1) bahwa setiap gen memisahkan alelnya, dan (2) bahwa segregasi ini tidak bergantung satu sama lain. Asumsi kedua menyiratkan bahwa tidak ada hubungan atau keterkaitan antara peristiwa segregasi kedua gen tersebut. Misalnya, sebuah gamet yang menerima W melalui segregasi gen bentuk biji kemungkinan besar menerima G sama seperti menerima g melalui segregasi gen warna biji.

Apakah data eksperimen sesuai dengan prediksi analisis yang dilakukan Mendel? Untuk frekuensi numerik, dihitung angka prediksi dengan mengalikan proporsi prediksi dengan jumlah total karakter biji F_2 yang diperiksa. Dengan metode manapun, jelas ada kesepakatan yang baik antara observasi dan prediksi. Dengan demikian, asumsi yang menjadi dasar analisis ini adalah segregasi independen dari gen warna biji dan gen bentuk biji yang konsisten dengan data yang diamati.

Mendel melakukan percobaan serupa dengan kombinasi sifat lain dan dalam setiap kasus dengan mengamati bahwa gen terpisah secara independen. Hasil eksperimen ini membawanya ke prinsip kunci ketiga.

Prinsip Berpasangan Secara Bebas (*Independent Assortment*): *alel dari gen yang berbeda memisahkan diri,*

atau dikatakan berpasangan secara independen satu sama lain. Prinsip ini adalah aturan lain dari pewarisan genetik, berdasarkan pada perilaku pasangan kromosom yang berbeda selama meiosis. Namun, tidak semua gen mematuhi Prinsip Berpasangan Secara Bebas.

Untuk situasi yang melibatkan satu atau dua gen, dimungkinkan untuk menuliskan semua gamet dan menggabungkannya secara sistematis untuk menghasilkan susunan genotipe zigot. Setelah ini diperoleh, Prinsip Dominansi dapat digunakan untuk menentukan fenotipe terkait. Prosedur ini disebut metode kotak Punnett (*Punnett square*), diambil dari nama Ahli Genetika Inggris R. C. Punnett, adalah cara langsung untuk memprediksi hasil persilangan. Selanjutnya kotak Punnett dapat digunakan untuk menganalisis hasil zigot dari persilangan dengan keturunan F₁ bentuk biji bulat warna biji kuning, Mendel melakukan persilangan sendiri (resiprok). Namun, dalam situasi yang lebih rumit, seperti yang melibatkan lebih dari dua gen (persilangan trihibrid), metode kotak Punnett sulit digunakan.

Kotak Punnett

F1 x F1	GW Biji kuning, bulat	Gw Biji kuning, keriput	gW Biji hijau, bulat	gw Biji hijau, keriput
GW Biji kuning, bulat	GGWW Biji kuning, bulat	GGWw Biji kuning, bulat	GgWW Biji kuning, bulat	GgWw Biji kuning, bulat
Gw Biji kuning, keriput	GGWw Biji kuning, bulat	GGww Biji kuning, keriput	GgWw Biji kuning, bulat	Ggww Biji kuning, keriput

F1 x F1	GW Biji kuning, bulat	Gw Biji kuning, keriput	gW Biji hijau, bulat	gw Biji hijau, keriput
gW Biji hijau, bulat	GgWW Biji kuning, bulat	GgWw Biji kuning, bulat	ggWW Biji hijau, bulat	ggWw Biji hijau, bulat
gw Biji hijau, keriput	GgWw Biji kuning, bulat	Ggww Biji kuning, keriput	ggWw Biji hijau, bulat	ggww Biji hijau, keriput

E. Pewarisan Sifat Pada Manusia

Meskipun banyak ciri-ciri manusia jelas dalam keluarga, sebagian besar tidak menunjukkan pola pewarisan Mendel yang sederhana. Misalkan, Ami memiliki mata coklat, tetapi kedua mata orang tua Ami tampak biru. Karena biru biasanya dianggap resesif terhadap coklat, apakah ini berarti Ami diadopsi atau ayahnya sebenarnya bukannya? Belum tentu, karena warna mata dipengaruhi oleh lebih dari satu gen.

Seperti warna mata, fenotipe manusia yang paling umum dan jelas muncul dari interaksi banyak gen (terangkai alel ganda atau *multiple allele*). Sebaliknya, ciri gen tunggal pada manusia biasanya melibatkan kelainan yang melumpuhkan atau bahkan dapat mengancam nyawa (terangkai gen letal). Contohnya adalah kerusakan neurologis progresif seperti penyakit Huntington dan paru-paru yang tersumbat serta potensi kegagalan pernapasan akibat *cystic fibrosis*. Alel yang rusak dari satu gen menimbulkan penyakit Huntington, alel yang rusak dari gen yang berbeda bertanggung jawab atas cystic fibrosis. Alel yang menyebabkan penyakit Huntington bersifat dominan dan alel normal (*nondisease*) dari gen ini bersifat resesif. Hal yang sebaliknya

berlaku untuk cystic fibrosis, alel penyebab penyakit bersifat resesif dan alel normal (*nondisease*) bersifat dominan.

Menentukan pola pewarisan kelainan genetik tidak selalu mudah karena orang membuat subjek genetik yang murni. Waktu generasinya lama, dan keluarga yang dihasilkan relatif kecil, yang membuat analisis statistik menjadi sulit. Manusia tidak mendasarkan pilihan pasangannya pada pertimbangan genetik semata. Dengan demikian, tidak ada galur murni dan persilangan terkontrol yang memungkinkan. Lebih jauh lagi, orang jarang menghasilkan generasi F₂ yang sebenarnya (seperti yang diamati Mendel dengan rasio 3: 1 dari mana aturannya diturunkan) karena saudara laki-laki dan perempuan hampir tidak pernah kawin (perkawinan sedarah atau sekerabatan).

Ahli genetika menghindari kesulitan ini dengan bekerja dengan sejumlah besar keluarga atau dengan beberapa generasi dari keluarga yang sangat besar. Dengan cara ini, para ilmuwan dapat mempelajari sejumlah besar individu yang terkait secara genetik yang diperlukan untuk menetapkan pola pewarisan sifat-sifat tertentu. Sejarah keluarga, yang dikenal sebagai silsilah (*pedigree*), adalah diagram yang teratur dari ciri genetik keluarga yang relevan, yang membentang kembali ke setidaknya kedua pasang kakek-nenek dan melalui generasi tambahan sebanyak mungkin. Dari analisis silsilah sistematis berdasarkan hukum Mendel, ahli genetika dapat mengetahui apakah suatu sifat ditentukan oleh alel alternatif dari satu gen dan apakah sifat gen tunggal bersifat dominan atau resesif. Karena prinsip Mendel yang sangat sederhana dan terus terang, maka dapat digunakan untuk menjelaskan bagaimana sifat diwariskan pada manusia.

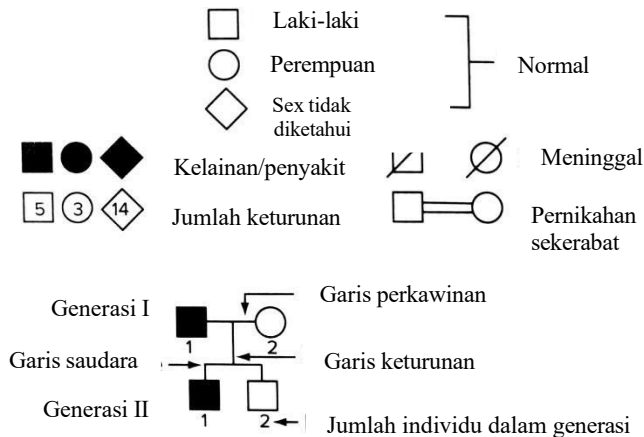
Gambar 2 menunjukkan bagaimana mengartikan diagram silsilah keluarga. Bentuk kotak mewakili laki-laki, bentuk lingkaran mewakili perempuan, bentuk berlian

menunjukkan bahwa jenis kelamin tidak dapat ditentukan. Anggota keluarga yang mengalami kelainan oleh sifat tersebut ditunjukkan dengan simbol yang terisi. Garis horizontal tunggal yang menghubungkan laki-laki dan perempuan melambangkan perkawinan, garis penghubung ganda menunjukkan perkawinan sejenis, yaitu perkawinan antar kerabat, dan garis horizontal di atas serangkaian simbol menunjukkan anak-anak dari orang tua yang sama (persaudaraan), diatur dan diberi nomor dari kiri ke kanan sesuai urutan kelahirannya. Angka Romawi di sebelah kiri atau kanan diagram menunjukkan generasi.

Untuk menyimpulkan tentang cara pewarisan sifat dalam keluarga, ahli genetika dapat menggunakan silsilah keluarga dan dapat memberikan informasi yang memadai. Misalnya, para peneliti tidak dapat menentukan apakah alel penyebab penyakit yang digambarkan di bagian bawah Gambar 2 bersifat dominan atau resesif semata-mata berdasarkan silsilah sederhana yang ditunjukkan. Data tersebut konsisten dengan kedua kemungkinan tersebut. Jika sifatnya dominan, maka ayah dan anak yang mengalami kelainan adalah heterozigot, sedangkan ibu dan anak yang tidak mengalami kelainan bersifat homozigot untuk alel normal resesif. Jika sifatnya resesif, maka ayah dan anak yang mengalami kelainan adalah homozigot untuk alel penyebab penyakit resesif, sedangkan ibu dan anak laki-laki yang tidak mengalami kelainan adalah heterozigot.

Beberapa jenis informasi tambahan dapat membantu menyelesaikan ketidakpastian ini. Ahli genetika secara khusus ingin mengetahui frekuensi di mana sifat tersebut ditemukan dalam populasi asal keluarga. Jika sifat tersebut langka dalam populasi, maka alel yang memunculkan sifat tersebut juga harus langka, dan hipotesis yang paling mungkin akan mensyaratkan bahwa paling sedikit orang yang tidak memiliki

hubungan genetik membawa alel tersebut. Hanya ayah pada Gambar 2 yang perlu memiliki alel pembawa penyakit bersifat dominan, tetapi kedua orang tua harus membawa alel penyebab penyakit resesif (ayah dua salinan dan ibu satu salinan). Namun, bahkan informasi yang menyatakan bahwa sifat tersebut langka dan tidak memungkinkan untuk menarik kesimpulan yang kuat bahwa sifat tersebut diwariskan secara dominan. Silsilah dalam gambar tersebut sangat terbatas sehingga tidak dapat digunakan untuk memastikan bahwa kedua orang tua itu sendiri tidak berhubungan. Seperti yang dibahas selanjutnya secara lebih rinci, maka orang tua yang mengalami kelainan mungkin keduanya menerima alel resesif langka yang sama dari nenek moyangnya yang sama. Contoh ini menggambarkan mengapa ahli genetika mencoba mengumpulkan sejarah keluarga yang mencakup beberapa generasi.



Gambar 2. Simbol yang digunakan dalam analisis silsilah. Dalam silsilah sederhana di bagian bawah, I-1 adalah ayah, I-2 adalah ibu, dan II-1 dan II-2 adalah anak-anaknya. Ayah dan anak laki-laki pertama sama-sama dipengaruhi oleh sifat penyakit (Hartwell et al., 2018).

Sekarang dapat dilihat silsilah yang lebih luas untuk sifat dominan penyakit Huntington dan untuk kondisi resesif cystic fibrosis. Pola di mana ciri-ciri ini muncul dalam silsilah memberikan petunjuk penting yang dapat menunjukkan cara pewarisan dan memungkinkan ahli genetika untuk menetapkan genotipe ke anggota keluarga.

Penyakit Huntington dinamai sesuai dengan penemunya yaitu George Huntington, dokter di New York yang pertama kali menjelaskan tentang penyakit ini. Penyakit ini biasanya muncul di usia paruh baya dan perlahan-lahan mematikan korbannya baik secara fisik maupun mental. Gejala berupa kemunduran intelektual, depresi berat, dan gerakan tersentak-sentak, gerakan tidak teratur, semuanya disebabkan oleh kematian sel-sel saraf yang progresif. Jika salah satu orang tua mengembangkan gejala kelainan ini, maka anak-anaknya biasanya memiliki kemungkinan 50% menderita penyakit tersebut, apabila dapat bertahan hidup sampai dewasa. Karena gejala tidak muncul saat lahir dan hanya muncul di kemudian hari, penyakit Huntington dikenal sebagai sifat genetik yang muncul terlambat.

Bagaimana cara menetapkan genotipe ke individu dalam silsilah penyakit Huntington yang digambarkan pada Gambar 3? Pertama, perlu dicari tahu apakah alel penghasil penyakit itu bersifat dominan atau resesif. Beberapa petunjuk menunjukkan bahwa penyakit Huntington diwariskan oleh alel dominan dari satu gen. Setiap orang yang mengidap penyakit ini memiliki setidaknya satu orang tua yang menunjukkan sifat tersebut, dan dalam beberapa generasi, sekitar setengah dari keturunannya mengalami kelainan. Pola individu yang mengalami kelainan ini digambarkan vertikal: jika dapat ditelusuri kembali nenek moyang individu yang mengalami kelainan, akan terlihat setidaknya satu orang yang mengalami kelainan di setiap generasi, memberikan garis terus menerus

dari anggota keluarga yang menderita penyakit tersebut. Ketika suatu penyakit jarang terjadi pada populasi secara keseluruhan, pola vertikal merupakan bukti kuat bahwa alel dominan menyebabkan sifat tersebut, alternatifnya akan mensyaratkan bahwa banyak orang yang tidak terkait membawa alel resesif yang langka.

Dalam melacak alel dominan melalui silsilah, maka dapat dilihat bahwa setiap perkawinan antara pasangan yang mengalami kelainan dan yang tidak mengalami kelainan sebagai analogi dengan uji silang (*test cross*). Jika beberapa keturunannya tidak mengidap penyakit Huntington, maka akan diketahui bahwa orangtua yang menunjukkan sifat atau kelainan tersebut adalah heterozigot.

BAB 8

INTERAKSI ANTAR ORGANISME DENGAN LINGKUNGAN

A. Pengertian Ekologi

Ada beberapa definisi ekologi yaitu antara lain:

1. Ekologi ialah cabang biologi yang mempelajari hubungan timbal balik manusia dengan lingkungannya.
2. Ekologi ialah studi ilmiah tentang interaksi yang menentukan penyebaran dan kepadatan makhluk hidup.
3. Ekologi ialah biologi lingkungan.

Dalam ilmu lingkungan seperti halnya ekologi, makhluk hidup (Organisme), di pelajari dalam unit populasi. Populasi adalah sekelompok individu-individu makhluk hidup yang sejenis yang hidup dalam suatu lingkungan tertentu. Basis dari ekologi adalah ekosistem. Ekologi mengkaji berbagai proses dalam bentuk interaksi yang terjadi di dalam ekosistem.

Ekosistem merupakan kumpulan dari bermacam-macam dari alam tersebut; contoh hewan, tumbuhan, lingkungan, dan yang terakhir manusia. Ekologi merupakan cabang ilmu yang masih relatif baru, yang baru muncul pada tahun 70-an. Akan tetapi, ekologi mempunyai pengaruh yang besar terhadap cabang biologinya. Ekologi adalah ilmu yang mempelajari interaksi antara organisme dengan lingkungannya dan yang lainnya.

Berasal dari kata Yunani “*oikos*” (habitat) dan “*logos*” (ilmu). Ekologi berarti ilmu yang mempelajari baik interaksi antar makhluk hidup maupun interaksi antara makhluk hidup dan lingkungannya. Istilah ekologi pertama kali dikemukakan oleh Ernest Haeckel (1834-1914). Dalam ekologi makhluk hidup dipelajari sebagai kesatuan atau sistem dengan lingkungannya.

Ekosistem mampu memelihara dan mengatur diri sendiri seperti halnya komponen penyusunnya yaitu organisme dan populasi. Dengan demikian, ekosistem dapat dianggap suatu ciberetik di alam. Namun manusia cenderung mengganggu sistem pengendalian alamiah ini.

B. Organisasi Kehidupan

Akibat terjadinya saling interaksi antar organisasi maka terjadilah tingkatan-tingkatan organisasi kehidupan. Dari yang terendah hingga yang tertinggi, yaitu individu, populasi, komunitas, ekosistem, bioma, dan yang tertinggi adalah biosfer.

1. Individu

Individu adalah sebutan untuk makhluk hidup tunggal, misalnya satu pohon mangga, seekor ikan mas, dan seekor kambing. Sifat individu tunggal adalah tampak pada proses kehidupan makhluk hidup. Proses hidup itu terjadi terpisah dan berbeda dalam tiap-tiap individu. Dalam berbagai hal kita sering mengalami kesulitan untuk memberikan batasan tentang pengertian individu tersebut. Misalnya, dalam serumpun tanaman, seekor sapi.

2. Populasi

Populasi sendiri merupakan kelompok yang terdiri atas spesies sejenis atau sama dan mendiami suatu habitat. Habitat merupakan tempat hidup suatu makhluk hidup.

Di dalam suatu populasi terjadi interaksi atau hubungan antar spesiesnya. Hal tersebut dilakukan guna menjalankan fungsi hidupnya, misalnya berkembang biak, melakukan perkawinan, dan untuk perlindungan satu sama lainnya. Contoh organisasi tingkat populasi adalah sekumpulan banteng.

3. Komunitas

Antara populasi jenis yang satu dengan lainnya yang hidup berdampingan saling berinteraksi. Seluruh populasi yang menempati suatu daerah yang dikenal dengan komunitas. Karena komunitas terdiri dari seluruh populasi, maka komunitas dapat juga disebut sebagai komponen biotik dari suatu daerah. Misalnya dalam ekosistem sawah, disana terdapat komunitas tanaman padi, rumput, cacing, ulat, dan belalang yang merupakan komunitas tanaman padi, rumput, cacing, ulat, dan belalang yang merupakan komponen biotik.

4. Ekosistem

Tingkatan organisasi yang lebih tinggi dari komunitas adalah ekosistem. Suatu kawasan alam yang di dalamnya tercakup unsur makhluk hidup (Biotik) dan benda mati (Abiotik) dimana antara unsur-unsur tersebut terjadi hubungan timbal balik.

Ekosistem merupakan satuan fungsional dasar dalam ekologi, mengingat bahwa di dalamnya tercakup organisme dan lingkungan abiotik yang satu terhadap yang lain saling mempengaruhi. Ekosistem merupakan benda nyata dan mempunyai ukuran beraneka, bergantung pada tingkat organisasinya. Contohnya: ekosistem kolam, misalnya, memiliki organisasi yang sederhana daripada ekosistem danau.

5. Bioma

Beberapa ekosistem akan membentuk bioma. Bioma adalah komunitas ekologi regional yang utama pada suatu areal alamiah yang luas dan ditandai oleh vegetasi dan iklim yang khas. Berbeda iklim berberbagai daerah di permukaan bumi ini, baik secara latitude maupun latitude akan menyebabkan terbentunya kelomok-kelompok vegetasiyang berbeda pula. Beberapa macam bioma antara lain: bioma hutan

hujan tropis, hutan gugur, padang rumput, gurun, dan bioma tundra.

6. Biosfer

Biosfer adalah kesatuan ekosistem yang ada pada di alam semesta ini. Biosfer untuk memungkinkan berlangsungnya sistem pendayagunaan energi dari daur ulang materi. Sistem ini berjalan oleh pada oleh adanya energi matahari kedalam sistem biosfer dan selanjutnya kembali ke ruang angkasa.

C. KOMPONEN EKOSISTEM

Suatu daerah dapat disebut ekosistem kalau daerah itu dihuni oleh makhluk hidup. Dengan demikian, komponen ekosisten terdiri atas makhluk atau benda mati.

1. Kompoenen Biotik

Komponen biotik adalah komponen ekosistem yang terdiri atas makhluk hidup, seperti manusia, hewan, tumbuhan, serta mikroorganisme. Dengan demikian, komponen ekosistem terdiri atas makhluk hidup dan benda mati.

2. Komponen Abiotik

Kompoen abiotik adalah komponen yang terdiri atas benda-benda tidak hidup seperti tanah, air, udara, cahaya, suhu, serta keadaan yang terbentuk sebagai hasil interaksi dari berbagai benda tidak hidup. Misalnya, kelembapan, arus angin, derajat, keasaman, iklim, topografi, dan arus air.

D. TIPE-TIPE EKOSISTEM

Ekosistem-ekosistem yang tersebar di seluruh permukaan bumi mempunyai tipe-tipe yang sangat bervariasi. Untuk menentukan tipe suatu ekosistem digunakan ciri yang mudah diamati, yaitu ciri komunitasnya yang menonjol. Pada

ekosistem darat, penentu tipe ekosistem didasarkan pada komunitas vegetasinya, sebab dari interaksi antara tumbuhan, hewan, dan lingkungannya, wujud vegetasi merupakan penampakan luar yang paling menonjol. Oleh sebab itu, pada areal yang lingkungan fisiknya berbeda akan ditemukan vegetasi yang berbeda. Di bumi Indonesia terdapat tiga kelompok ekosistem utama, yaitu sebagai berikut:

1. Ekosistem Laut

Ekosistem laut merupakan areal paling luas di antara ekosistem- ekosistem utama lainnya. Kelompoknya ini mencakup ekosistem laut dalam, pantai pasir dangkal atau litoral, serta daerah pasang surut.

a. Ekosistem Laut Dalam

Ekosistem laut dalam merupakan ekosistem laut yang tidak terjangkau oleh sinar matahari. Oleh sebab itu, pada ekosistem ini tidak mungkin hidup produsen yang fotoautotrof. Karena terbatasnya sumber materi dan energi, maka keanekaragaman jenis makhluk hidup pada ekosistem laut dalam paling rendah dibandingkan ekosistem laut lainnya.

b. Ekosistem Pantai Pasir Dangkal

Ekosistem ini terletak di pantai yang tergenang air laut, kecuali pada saat surut rendah. Daerahnya terbuka, jauh dari pengaruh air sungai besar atau terdapat di antara dua dinding batu terjal. Pantai pasir dangkal banyak terdapat di pantai utara Jawa, Bali, Sumbawa, dan Sulawesi. Vegetasi yang dominan antara lain rumput laut dan ganggang.

2. Ekosistem Darat

Sebelum manusia merajai permukaan bumi ini, sebagian besar ekosistem darat merupakan ekosistem alam. Alam darat Indonesia secara garis besarnya dapat dibedakan

menjadi tiga, yaitu dataran rendah, dataran tinggi/pegunungan, dan daerah gunung. Kondisi fisik ketiga wilayah tersebut berbeda sehingga jenis organisme yang mampu beradaptasi kepada daerah itu juga berbeda.

Berdasarkan kemampuan beradaptasi terhadap masing-masing daerah tersebut, di Indonesia terdapat tiga bentuk vegetasi utama yang paling penting untuk mengenal ekosistem darat alami, yaitu:

a. Vegetasi Daratan Rendah/Pamah

Vegetasi pamah merupakan vegetasi paling besar di antara vegetasi ekosistem darat lainnya. Daerah yang dikategorikan dataran rendah adalah yang memiliki ketinggian dari permukaan laut 0-300 m di atas permukaan laut. Vegetasi dataran rendah dibedakan menjadi beberapa kelompok, di antaranya adalah sebagai berikut:

- 1) Hutan bakau, vegetasi ini tumbuh berkembang dengan baik pada dan daerah rawa berair payau. Kenekaragaman jenis vegetasinya rendah, dengan komposisi yang beraneka ragam. Pada hutan bakau hidup berbagai jenis fauna. Ada yang menetap dan ada yang sementara. Berbagai hewan yang arboreal (hidup di pohon) memakan pucuk dan buah tumbuhan bakau, misalnya kera. Beberapa hewan lain, seperti kepiting, moluska, ular, dan udang hidup di dasar hutan.
- 2) Hutan tepi sungai, memiliki tanah yang subur, dalam, dan gembur, sehingga keanekaragaman vegetasinya cukup tinggi. Tipe hutan ini ditemukan pada daerah tebing berbatu. Vegetasinya terdiri atas tumbuhan berkayu dengan akar atau resofit, misalnya pohon

tengkawang dan kayu ulin.

- 3) Hutan rawa gambut, merupakan hasil hancuran lumut gambu, sehingga tanahnya menjadi asam dan miskin hara. Daerahnya cembung, tebal tanah gambutannya pada hutan gambut rendah. Hutan rawa gambut banyak terdapat di timur Sumatra, Kalimantan Timur, dan Kalimantan Barat.
- 4) Hutan sagu, berkembang pada daerah yang aliran air tawar teratur. Daerah ini terdiri atas hutan sagu murni dan hutan sagu campuran. Hutan sagu yang tumbuh pada air tawar yang teratur pohonnya tinggi, sedangkan sagu yang tumbuh pada rawa yang airnya payau, sering surut jauh sehingga mengalami kekeringan, tubuhnya akan kerdil. Hutan sagu banyak terdapat di rawa-rawa Maluku, dan Papua.

b. Vegetasi Dataran Tinggi

Pegunungan atau dataran tinggi adalah daerah yang mempunyai ketinggian 300-1.500 m dari permukaan laut. Ketinggian suatu daerah erat kaitnya dengan iklim suatu daerah, yang sangat menentukan jenis vegetasinya. Komunitas vegetasi yang berkembang di daerah pegunungan antara lain tumbuhan paku-pakuan yang menonjol, tumbuhan bunga, tumbuhan, membelit, serta tumbuhan lumut yang populasinya amat tinggi.

c. Vegetasi Monsum

Vegetasi monsum adalah komunitas vegetasi yang terdapat di daerah hutan musim. Ciri khas vegetasinya adalah menggugurkan daunnya pada musim kemarau dan daunnya tumbuh pada musim penghujan.

3. Ekosistem Buatan

Untuk memenuhi kebutuhannya, manusia melakukan berbagai usaha. Diantara usaha tersebut erat kaitannya dengan pengelolaan lingkungan. Akibat dari usaha tersebut terbentuklah beberapa ekosistem buatan. Diantara ekosistem buatan yang penting adalah sebagai berikut:

- a. Waduk, merupakan DAM atau bendungan yang membentuk ekosistem baru berupa waduk atau danau buatan. Substrat dasar waduk itu umumnya berasal dari kebun, sawah, sungai, ladang, dan lahan lain yang kondisinya berbeda. Setelah terbentuknya ekosistem baru, yaitu waduk, lambat laun akan mengalami suksesi.
- b. Hutan Tanaman, adalah hutan yang sejenis vegetasinya di budidayakan manusia. Berbagai jenis tanaman yang di budidayakan adalah jenis tanaman yang mempunyai nilai ekonomi tinggi, misalnya Jati, Pinus, Rasamala, Mahoni, Karet, dan Kepala sawit.
- c. Agro Ekosistem, adalah ekosistem buatan yang berupa daerah pertanian. Berbagai argo ekosistem yang dikembangkan di Indonesia, antara lain Sawah tadah hujan, sawah irigasi, sawah surjan (di daerah sering banjir) sawah rawa dan sawah pasang suru. Komunitas pada argo ekosistem biasanya bersifat monokultur, sehingga ekosistem ini mudah goyah tumbuhan karena tingkat keanekaragamannya rendah.

E. Interaksi Individu

1. Interaksi antar individu dalam populasi

Pada tumbuhan, kita akan mendapat banyak kesulitan untuk melakukan adanya interaksi antar individu didalam populasi. Sekilas diantara individu yang hidup dalam 1 kelompok hidup baik- baik saja, namun diantara mereka selalu

terjadi interaksi. Pada hewan interaksi antar individu dalam komunitas lebih mudah untuk diamati. Sifat interaksi antar individu dalam populasi ada 2 macam yaitu, sebagai berikut:

a. Interaksi saling menguntungkan

Bentuk interaksi ini, misalnya pada proses perkembangbiakan. Pada beberapa jenis tumbuhan misalnya Jagung, tangkil, salak, dan lain-lain. Tanpa adanya individu yang berbunga berlainan, jenis tumbuhan ini tak akan mampu menghasilkan biji. Pada hewan yang berkelamin dua untuk berkembangbiak selalu membutuhkan pasangan. Jadi, untuk dapat berkembangbiak antar individu dalam populasi berinteraksi saling menguntungkan.

Pada hewan yang berkoloni antar individu hidup berkelompok, kompak, dan bersatu sehingga terjadi interaksi yang amat serasi. Lebah-lebah bersatu membuat sarang dan mencari madu, semut-semut bergotongroyong mengangkut makanannya. Rayap, burung, dan beberapa jenis hewan lainnya bergotongroyong membangun tempat tinggalnya.

b. Interaksi kompetisi

Individu-individu yang hidup dalam suatu areal memiliki tugas yang sama. Diantara individu tersebut juga memiliki kebutuhan yang sama pada areal yang sama dan terbatas. Oleh karena itu, kebutuhan hidup tersebut hanya dapat diperoleh melalui persaingan atau kompetisi.

Persaingan tersebut tampak dalam berbagai kegiatan hidup, misalnya persaingan untuk mendapatkan air, mineral, energi, makanan, tempat hidup, maupun pasangan hidup. Persaingan akan semakin tajam bila populasi individu semakin meningkat.

2. Interaksi individu dalam komunitas

Interaksi individu juga terjadi antar individu lain jenis atau lain populasi. Misalnya, tumbuhan mangga dengan benalu, manusia dengan tumbuhan, manusia dengan hewan, hewan dengan tumbuhan, dan lain- lain. Bentuk interaksi diantara individu lain jenis dapat berupa:

a. Interaksi simbiosis

Simbiosis adalah interaksi yang sangat erat antar individu lain jenis. Simbiosis dapat dibedakan menjadi beberapa macam, diantaranya adalah:

- 1) Simbiosis mutualisme, yaitu interaksi antar dua individu ataupun populasi yang saling menguntungkan. Misalnya, simbiosis antara jenis jamur tertentu dan jenis alga tertentu membentuk liken, bakteri *Rhizodium* yang hidup pada bintil-bintil akar tanaman berbuah polong, dan antara bunga dengan kupu-kupu. Simbiosis parasitisme, yaitu interaksi dua individu atau populasi dimana salah satu individu untung sedang simbion pasangannya rugi. Contohnya, antara lain benalu yang tumbuh pada ranting pohon mangga, cacing perut, cacing tambang yang hidup pada usus manusia.
- 2) Simbiosis komensalisme, yaitu interaksi antar individu atau populasi, dimana yang satu untung sedangkan individu atau populasi lainnya tidak untung dan juga tidak rugi. Contohnya, antara lain interaksi antara ikan remora kecil yang menempel pada penyu atau ikan hiu.

b. Interaksi predasi

Predasi adalah interaksi antar individu ataupun populasi, dimana populasi yang satu memangsa populasi yang lainnya. Pemangsa disebut predator,

sedangkan yang dimakan atau di mangsa disebut mangsa. Contohnya, rusa di mangsa cheeta. Interaksi predasi antar populasi ini menyebabkan terjadinya fruktiasi populasi predator dan mangsa. Misalnya, populasi kelinci hutan dengan pemangsanya yaitu kucing hutan. Mula-mula kelinci hutan berkembangbiak karena kondisi hutan sangat menunjang untuk perkembangannya.

Saat itu populasi hewan pemangsanya yaitu kucing masih amat sedikit memungkinkan pertumbuhan kelinci meningkat. Kondisi ini menyebabkan meningkatnya daya dukung terhadap kehidupan kucing. Karen terjadilah dua populasi mendukung terhadap kehidupan kucing meningkat maka populasinya meningkat. Dampaknya produktivitas kelinci terganggu sehingga pertumbuhan populasi negatif. Dengan demikian, ketersediaan makanan kucing berkurang. Berkurangnya makanan menyebabkan populasi kucing menurun juga. Hal ini memungkinkan populasi kelinci meningkat lagi. Demikian seterusnya, sehingga terjadilah Fruktiasi pertumbuhan kedua populasi yang berinteraksi predasi tersebut.

c. Interaksi Kompetisi

Kompetisi atau persaingan terjadilah apabila dua populasi menempati habitat dan nisia yang sama. Bila dalam kompetisi tersebut ada salah satu pesaing yang kalah, pesaing yang kalah tersebut akan mati atau menykir dari areal tempat tinggalnya.

F. Pola-Pola Interaksi

Kebutuhan hidup organisme di peroleh dari lingkungannya, baik lingkungan biotik maupun abiotik. Sehubungan dengan itu, terjadilah hubungan timbal balik

antara individu organisme dengan individu organisme lain atau individu dengan lingkungan abiotiknya. Dari hubungan timbal balik tersebut, terjadilah hubungan saling ketergantungan atau interdependensi antar komponen dalam suatu ekosistem.

Saling ketergantungan ini mencakup berbagai kebutuhan hidup. Misalnya, kebutuhan hidup akan berkembangbiak, makanan, mineral, energi, air, udara, dan lain-lain. Kebutuhan tersebut diperoleh dengan cara yang berbeda-beda. Ada yang diperoleh langsung dari udara, tanah, air, dengan memakan makhluk hidup lainnya. Adanya saling ketergantungan tersebut menyebabkan di dalam suatu ekosistem terjadi suatu rantai makanan, jaring-jaring makanan, aliran energi, aliran materi, dan terjadi siklus biogeokimia.

1. Rantai Makanan

Di dalam semesta ini hanya tumbuhan hijau yang mampu menyusun zat makanan. Zat tersebut berupa karbohidrat, disusun melalui proses yang disebut fotosintesis. Untuk fotosintesis ini, diperlukan energi cahaya matahari serta bahan CO₂ dan air. Secara langsung maupun tidak langsung, semua organisme heterotrofik bergantung pada tumbuhan, karena zat yang diperlukan diperoleh dengan memakan tumbuhan. Sedangkan organisme yang tidak memakan tumbuhan, zat makanannya diperoleh dengan memakan organisme lain. Dengan cara memakan dan dimakan tersebut maka terjadilah perpindahan zat atau materi serta energi melalui proses makan dan dimakan dengan urutan tertentu disebut rantai makanan.

Sebagai contoh, tanaman dimakan ulat. Selanjutnya ulat dimakan burung. Oleh karena itu, terjadilah aliran materi dan energi berturut-turut: tanaman→ulat→burung.

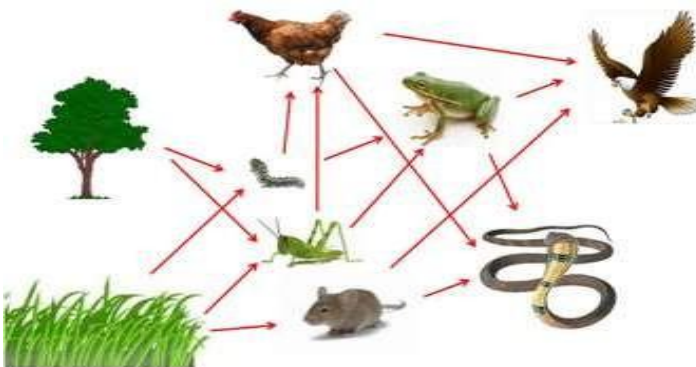
Tiap tingkat dari rantai makanan disebut tingkat trofi atau taraf trofi. Karena organisme pertama yang mampu

menghasilkan zat makanan adalah tumbuhan maka tingkat trofi pertama selalu diduduki tumbuhan hijau atau produsen. Tingkat selanjutnya adalah tingkat trofi kedua, terdiri atas hewan pemakan tumbuhan, yang biasanya disebut konsumen primer. Hewan pemakan konsumen primer merupakan tingkat trofi ketiga, terdiri atas hewan-hewan karnivora.

2. Jring-Jaring Makanan

Pada hakikatnya, setiap makhluk hidup di dalam suatu ekosistem merupakan sumber materi dan nergi bagi makhluk hidup lainnya. Dan suatu kenyataan bahwa setiap jenis makhluk tidak hanya memakan satu jenis makhluk hidup lainnya. Hal ini terutama pada makhluk pemakan segala atau omnivora, seperti manusia ayam dan lain-lain.

Ayam tidak hanya memakan biji jagung saja, tetapi juga memakan padi, cacing, belalang, jangkrik dan lain-lain. Sebaliknya, ayam tidak hanya dimakan musang saja, tetapi juga bisa dimakan oleh manusia, burung alap-alap, elang, dan lain-lain. Akibat dari semua itu maka di dalam suatu ekosistem, rantai-rantai makanan itu akan saling berhubungan satu sama lain sedemikian rupa sehingga membentuk seperti jaring-jaring. Itulah sebabnya maka disebut jaring-jaring makanan.

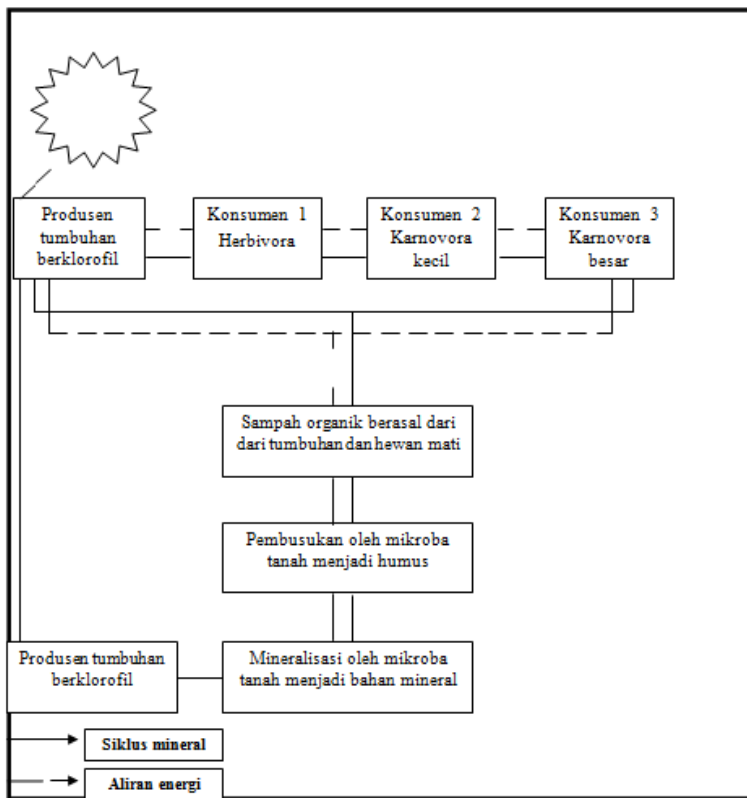


Gambar 5. Contoh Jaring-Jaring Makanan

3. Aliran Materi dan Energi

Adanya peristiwa memakan dan dimakan antara komponen biotik didalam suatu ekosistem akan menyebabkan terjadinya perpindahan materi dan energi dari makhluk yang satu ke yang lain. Perpindahan materi atau zat dan energi dari makhluk yang satu ke makhluk yang lainnya disebut aliran materi dan aliran energi.

Sumber energi primer bagi semua kehidupan di planet bumi ini adalah energi cahaya matahari. Tak ada organisme selain tumbuhan yang dapat memanfaatkan energi cahaya matahari untuk aktivitas hidupnya. Di dalam tubuh, energi dapat berubah dari bentuk yang satu ke bentuk yang lainnya. Setelah digunakan oleh kehidupan, energi tak akan kembali ke matahari

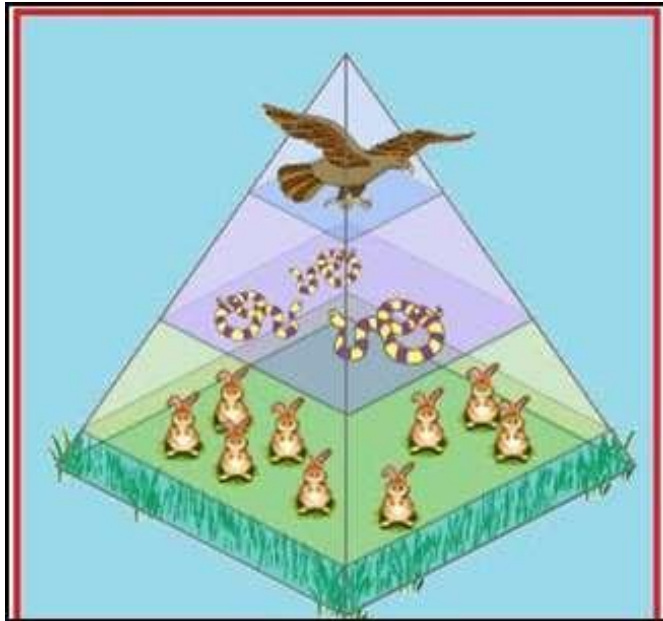


4. Piramida Ekologi

Di dalam setiap ekosistem, setiap organisme akan menempati trofi tertentu. Tingkat trofi tersebut terdiri atas produsen, konsumen primer, konsumen sekunder, konsumen tersier dan seterusnya. Produsen selalu menempati tingkat pertama atau yang paling bawah. Herbivora menempati tingkat kedua, karnivora tingkat kedua, dan seterusnya. Kalau organisme yang terdapat pada berbagai tingkat trofi tersebut kita bandingkan maka akan tampak adanya diagram yang berbentuk piramida. Piramida ekologi sangat bermanfaat untuk memberikan gambaran yang jelas tentang hubungan antar organisme di dalam suatu ekosistem secara kuantitatif. Ada tiga macam piramid, yaitu:

a. Piramida Jumlah

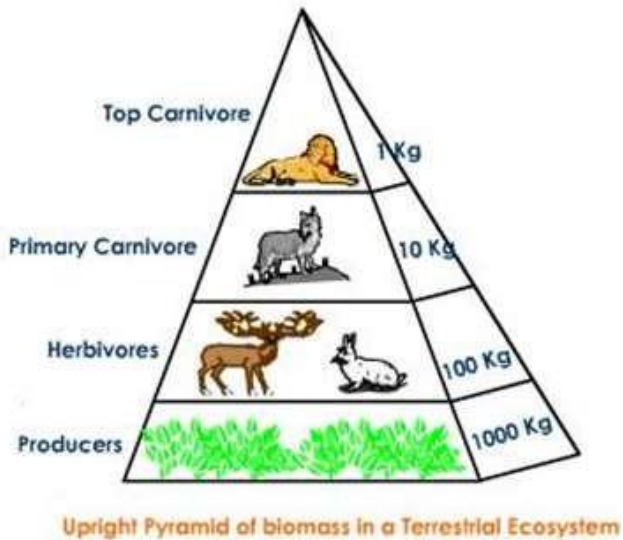
Piramida jumlah menggambarkan hubungan kepadatan dan populasi di antara tingkat trofi. Dengan demikian, piramida jumlah adalah gambaran jumlah individu pada setiap tingkat trofi. Piramida ini diperkenalkan pertama kali oleh Elton pada tahun 1927. Diagram piramida jumlah didapat dengan menghitung organisme yang terdapat pada suatu areal, kemudian dikelompokkan menurut tingkat trofinya. Untuk mengilustrasikan piramida tersebut, jumlah organisme pada setiap tingkat trofi digambarkan dengan sebuah segi empat, yang luasnya di bandingkan jumlah individu organisme yang terdapat pada tingkatan trofi tersebut.



b. Piramida Biomassa

Piramida biomassa adalah piramida ekologi yang berdasarkan pada berat atau massa kering total, nilai kalori, atau ukuran lain dari jumlah total organisme hidup dari masing-masing tingkat trofiknya. Idealnya, untuk mendapatkan massa organisme pada setiap taraf trofi dilakukan dengan mencatat jumlah seluruh individu dan menimbang berat kering per satuan volume atau arealnya. Karena cara ini amat sukar dan lama maka biasa dilakukan dengan penaksiran saja. Cara melakukan penaksiran adalah dengan menghitung jumlah individu pada setiap taraf trofi, selanjutnya menimbang berat individu yang mewakilinya.

Bentuk piramida Boimassa menunjukkan bahwa jumlah biomassa menurun pada tingkat trofi. Perhatikan gambar piramida biomassa! Bentuk piramida biomassa pada suatu tempat akan selalu mengalami perubahan, bergantungnya kepada perubahan berbagai faktor luarnya, misalnya iklim.



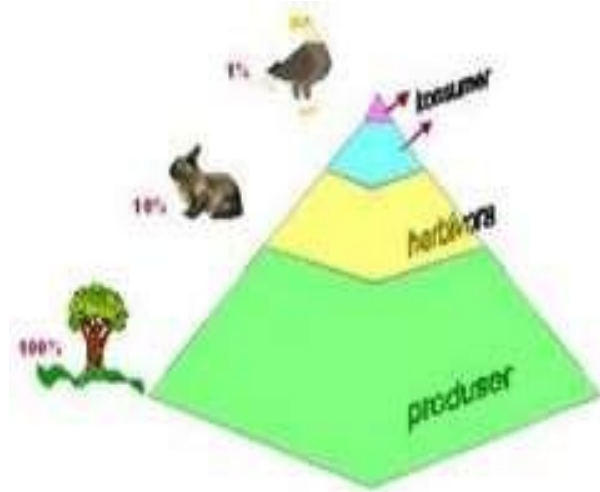
Gambar 8. Piramida Biomassa

c. Piramida Energi

Piramida energi di tunjukkan dengan kecepatan aliran energi atau produktivitas pada taraf trofi suksesif. Piramida ini paling ideal dan mendasar untuk menunjukkan hubungan organisme pada setiap taraf trofi. Pada piramida energi, tidak hanya jumlah total energi yang digunakan organisme pada setiap taraf trofi rantai makanan, tetapi juga menyangkut peranan berbagai organisme didalam transfer energi. Suatu produsen mungkin biomasnya kecil, tetapi total energi yang diolah dan diberikan kepada komsumen mungkin lebih besar daripadaprodusen lain yang biomasnya lebih besar.

Di dalam penggunaan energi, makin tinggi tingkat trofinya maka makin efisien. Namun, panas yang dilepaskan pada proses transfer energi menjadi lebih besar. Hilangnya panas pada proses respirasi juga makin meningkat dari organisme yang taraf trofinya rendah ke taraf trofi yang lebih tinggi.

Piramida energi biasanya dinyatakan dalam kalori atau kilo kalori per satuan luas per tahun. Di bandingkan piramida ekologi lainnya, piramida energi paling berguna. Namun, untuk mendapatkan datanya paling rumit karena untuk memperoleh data harus dilakukan pengukuran, seperti luas, waktu, dan energi suatu organisme.



Gambar 9. Piramida energi

Penggunaan piramida energi jauh lebih menguntungkan bila dibandingkan dengan menggunakan piramida lain, kelebihanannya yaitu sebagai berikut.

- 1) Memperhitungkan kecepatan produksi. Setiap skala segi empat pada piramida energi akan memberikan gambaran berupa jumlah energi tiap satuan luas atau volume yang masuk ke taraf trofi dalam satuan waktu tertentu, misalnya per hari, per bulan, per tahun dan seterusnya.
- 2) Massa dua jenis organisme yang sama tidak selalu memiliki energi yang sama. Bila dianggap sama maka perbandingan berdasarkan biomassa akan keliru.

No	Konsumen I	Kepadatan Jumlah/m ²	Biomassa g/m ²	Arus Energi kJ/m ² /hr
1	Bakteri tanah	10	30.001	4,2
2	Kopepoda laut	10	32,0	10,5
2	Siput pasang surut	200	310,0	4,2
4	Belalang	10	1,0	1,7
5	Tikus padang	10	0,6	2,9
6	Kijang	10	1,1	2,1

- 1) Tidak ditemukan piramida terbalik dan dapat digunakan untuk membandingkan.
- 2) Pentingnya kedudukan populasi di dalam suatu ekosistem. Dengan memperhatikan Tabel 1 dapat diketahui arus energi dari konsumen I yang biomassa yang amat kecil, tetapi mempunyai keluaran energi atau arus energi yang cukup besar.
- 3) Masukkan energi matahari dapat ditambahkan sebagai segi empat tambahan pada dasar piramida.

G. Suksesi Ekosistem

Komunitas sebagai suatu satuan yang dinamis, di dalamnya terdapat taraf trofi, daur materi, serta aliran energi. Salah satu ciri komunitas adalah selalu mengalami perubahan. Perubahan itu berlangsung sepanjang waktu. Kalau kita mengadakan pengamatan suatu komunitas secara berulang-ulang dalam kurun waktu tertentu maka hasil pengamatan itu selalu berbeda. Hal ini membuktikan bahwa komunitas selalu mengalami perubahan. Hal sama akan terjadi pada suatu lahan yang dibiarkan untuk jangka waktu tertentu. Lambat laun akan

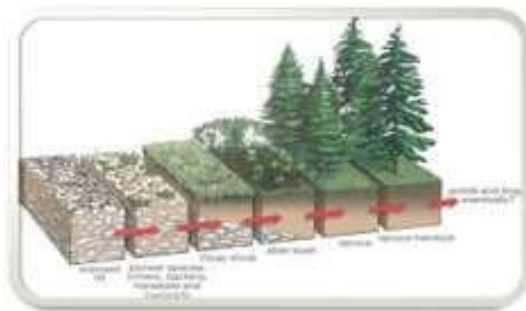
terjadi perubahan komposisi dan struktur kehidupan pada ekosistem tersebut. Proses perubahan komunitas yang berlangsung menuju kesatu arah secara teratur disebut suksesi.

Suksesi pada suatu ekosistem terjadi karena adanya perubahan lingkungan fisik. Suksesi ekosistem itu akan berakhir kalau sudah mencapai klimaks. Dikatakan klimaks apabila telah mencapai homeostatis, artinya komunitas tersebut telah mampu menjaga kestabilan kondisi internalnya. Suksesi terbagi 2 yaitu suksesi primer dan sekunder.

1. Suksesi Primer

Suksesi primer terjadi apabila suatu ekosistem berubah total, sehingga komunitas awal musnah. Keadaan semacam ini terjadi secara alami, misalnya gunung meletus dan tanah longsor. Komunitas baru akan berkembang secara teratur dan bertahap. Mula-mula terjadi invasi serbuan suatu organisme dari luar wilayah. Selanjutnya diikuti kolonisasi atau tumbuhnya organisme pada batuan yang gundul.

Tidak semua jenis organisme yang melakukan invasi ke dalam ekosistem yang berubah total itu dapat hidup. Organisme yang melakukan invasi awal dapat hidup dan tumbuh, sehingga kemungkinan untuk tumbuhnya disebut organisme/komunitas perintis atau pionir. Jenis organisme yang biasa menjadi pionir ini antara lain alga hijau biru dan lumut kerak.



Gambar 10. Contoh suksesi primer

2. Suksesi Sekunder

Suatu komunitas yang telah mencapai klimaks karena sesuatu dan lain hal dapat mengalami kerusakan. Misalnya karena penebangan oleh manusia, angin ribut, kemarau panjang, banjir, dan lain-lain. Kerusakan ini tidak memusnahkan seluruh komunitas. Setelah itu akan secara lambat dan teratur, komunitasnya akan mengalami perubahan lagi. Perkembangan ekosistem setelah terjadi kerusakan disebut suksesi sekunder.

Kecepatan suksesi ekosistem dipengaruhi berbagai faktor, di antaranya, yaitu

- a. Luas komunitas asal yang rusak karena gangguan
- b. Jenis tumbuhan yang terdapat disekitar daerah yang terganggu
- c. Kehadiran pemencar biji benih
- d. Iklim, terutama arah dan kecepatan angin yang membantu menyebarkan biji, spora, dan benih, serta curah hujan
- e. Macam-macam substrat baru yang terbentuk
- f. Sifat-sifat jenis tumbuhan

Faktor abiotik yang sangat berperan dalam menentukan komposisi komunitas klimaks adalah musim. Ada dua hipotesis tentang komunitas klimaks, yaitu

- a. Hipotesis monoklimaks, menyatakan bahwa hanya satu komunitas klimaks akhirnya mungkin tercapai untuk daerah tertentu saja.
- b. Hipotesis poliklimaks, menyatakan bahwa klimaks selalu dipengaruhi oleh segala faktor fisik yang salah satunya mungkin dominan.

BAB 9

KEANEKARAGAMAN MAHLUK HIDUP

Fenomena keanekaragaman satwa dari ukuran satwa yang terkecil sampai ukuran satwa yang terbesar atau dari jenis satwa yang sangat primitif sampai jenis satwa yang paling modern, sungguh menakjubkan. Makin banyak kita melihatnya, makin terbuka mata kita akan keanekaragaman tersebut. Makin kita mencoba memahaminya, makin terasa kebesaran Tuhan akan makhluk ciptaan-Nya.

Apa yang menyebabkan keanekaragaman tersebut? Bagaimana makhluk hidup bersel tunggal dapat berkembang menjadi makhluk yang begitu berbeda satu sama lainnya? Sebelum pembahasan kita lanjutkan, kita harus mengetahui dahulu, apa itu keanekaragaman makhluk hidup? Keanekaragaman makhluk hidup merupakan ungkapan pernyataan terdapatnya berbagai macam keragaman bentuk, penampilan, jumlah, dan sifat yang terlihat pada berbagai tingkatan makhluk, yaitu tingkatan ekosistem, tingkatan jenis, dan tingkatan genetik.

A. Konsep Keanekaragaman Makhluk Hidup

1. Pengertian Konsep

Menurut para ahli konsep diartikan dengan beberapa pengertian, yaitu:

- a. Menurut Soedjaji (2000:14) pengertian konsep adalah ide abstrak yang dapat digunakan untuk mengadakan klasifikasi atau penggolongan yang pada umumnya dinyatakan dengan suatu istilah atau rangkaian kata.
- b. Menurut Bahri (2008:30) pengertian konsep adalah satuan arti yang mewakili sejumlah objek yang mempunyai cirri yang sama.

- c. Menurut Singarimbun dan Effendi (2009) pengertian konsep adalah generalisasi dari sekelompok fenomena tertentu, sehingga dapat dipakai untuk menggambarkan berbagai fenomena yang sama.

Dari beberapa pengertian di atas, dapat disimpulkan bahwa konsep adalah istilah atau satuan arti yang mewakili dan dapat menggambarkan suatu objek yang memiliki ciri yang sama.

2. Pengertian Makhluk Hidup

Bunga, kambing, ikan, burung dan juga manusia, semuanya bergerak, memerlukan makanan, bernafas, dan berkembangbiak. Mengapa hal ini terjadi? Nah, Hal tersebut terjadi karena mereka adalah makhluk hidup. Motor tidak bisa bergerak jika tidak diisi bensin. Demikian juga dengan sepeda dan bentor, jika tidak dikendarai manusia tidak akan bergerak. Benda itu dinamakan dengan makhluk tak hidup karena tidak melakukan hal-hal yang dilakukan makhluk hidup. Jadi makhluk hidup adalah makhluk yang memiliki ciri-ciri kehidupan seperti bernafas, bergerak, dan berkembang biak.

3. Pengertian Keanekaragaman Makhluk Hidup

Keanekaragaman makhluk hidup/keanekaragaman hayati atau biodiversitas (Bahasa Inggris: *Biodiversity*) adalah suatu istilah pembahasan yang mencakup semua bentuk kehidupan, yang secara ilmiah dapat dikelompokkan menurut skala organisasi biologisnya, yaitu mencakup gen, spesies tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme serta ekosistem dan proses-proses ekologi dimana bentuk kehidupan ini merupakan bagiannya. Dapat juga diartikan sebagai kondisi keanekaragaman bentuk kehidupan dalam ekosistem atau bioma tertentu. Keanekaragaman hayati seringkali digunakan sebagai ukuran kesehatan sistem biologis. Keanekaragaman hayati tidak terdistribusi secara merata di bumi; wilayah tropis

memiliki keanekaragaman hayati yang lebih kaya, dan jumlah keanekaragaman hayati terus menurun jika semakin jauh dari ekuator. Keanekaragaman hayati yang ditemukan di bumi adalah hasil dari miliaran tahun proses evolusi. Asal muasal kehidupan belum diketahui secara pasti dalam sains. Hingga sekitar 600 juta tahun yang lalu, kehidupan di bumi hanya berupa archaea, bakteri, protozoa, dan organisme uniseluler lainnya sebelum organisme multiseluler muncul dan menyebabkan ledakan keanekaragaman hayati yang begitu cepat, namun secara periodik dan eventual juga terjadi kepunahan secara besar-besaran akibat aktivitas bumi, iklim, dan luar angkasa.

B. Faktor Penyebab Terjadinya Keanekaragaman Makhluk Hidup

Keanekaragaman dapat terjadi akibat dipengaruhi oleh faktor genetik dan faktor lingkungan. Faktor genetik atau faktor keturunan adalah sifat dari makhluk hidup itu sendiri yang diperoleh dari induknya. Faktor genetik ditentukan oleh gen atau pembawa sifat. Faktor lingkungan adalah faktor dari luar makhluk hidup yang meliputi lingkungan fisik, lingkungan kimia, dan lingkungan biotik. Lingkungan biotik misalnya suhu, kelembapan cahaya, dan tekanan udara. Lingkungan kimia misalnya makanan, mineral, keasaman, dan zat kimia buatan. Lingkungan biotik misalnya mikroorganisme, tumbuhan, hewan, dan manusia. Keanekaragaman makhluk hidup dapat terbentuk karena perkawinan (persilangan) dan kondisi lingkungan.

1. Perkawinan (Persilangan)

Perkawinan dapat menghasilkan keanekaragaman. Perkawinan yang dimaksud adalah perkawinan antar individu berbeda sifat, tetapi tergolong dalam jenis (spesies) yang sama. Perkawinan antara spesies yang berbeda mungkin dapat

menghasilkan keturunan, tetapi keturunannya itu tidak mampu menghasilkan keturunan yang baru. Yang mana keturunan yang baru itu, merupakan keturunan yang steril. Perkawinan antar individu didalam jenis (spesies) yang sama akan menghasilkan keturunan yang fertil. Artinya, keturunan tersebut mampu berkembang biak menghasilkan keturunan berikutnya. Di dalam spesies yang sama terdapat perbedaan sifat. Perkawinan antar makhluk hidup yang berbeda sifat

dapat menghasilkan keturunan yang memiliki sifat baru. Keturunan dengan sifat yang baru tersebut merupakan individu baru. Perkawinan demikian disebut pembastaran atau persilangan. Jadi, melalui pembastaran akan muncul keanekaragaman yang baru. Persilangan buatan banyak dilakukan pada tumbuh-tumbuhan. Tujuannya adalah untuk mendapatkan sifat baru yang unggul. Misalnya, persilangan tebu untuk memperoleh bibit tebu yang unggul. Demikian pula dengan untuk mendapatkan bibit padi, jagung, dan kedelai atau hewan budidaya tertentu.

2. Keadaan Lingkungan

keadaan lingkungan dapat mempengaruhi keanekaragaman makhluk hidup yang ada. Berikut akan diberi contohnya:

- a. Biasanya jenis makhluk yang ada di daerah subur lebih banyak dibandingkan dengan di daerah gersang. Jadi, keanekaragaman makhluk hidup di daerah subur lebih tinggi daripada di daerah gersang. Indonesia termasuk daerah Negara yang subur dan memiliki keanekaragaman makhluk hidup yang tinggi.
- b. Sebuah batu di tepi sungai terdapat berbagai makhluk hidup. Misalnya lumut, tumbuhan paku, rumput, lumut kerak, dan siput. Keanekaragaman makhluk hidup di sisi batu yang kering berbeda dengan keanekaragaman makhluk hidup di sisi batu yang kering. Dalam contoh

ini, keanekaragaman dipengaruhi oleh kelembapan dan ketersediaan air.

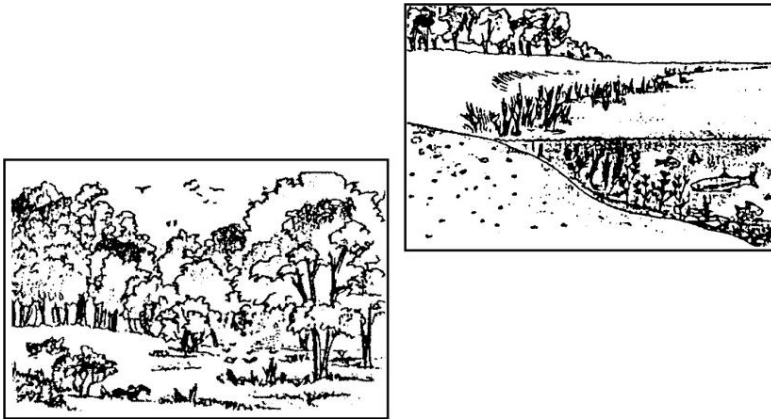
Permukaan bumi terdapat berbagai spesies makhluk hidup. Sebagaimana telah di uraikan, makhluk hidup yang berbeda spesies tidak dapat menghasilkan keturunan yang fertil. Bahkan, makhluk hidup yang berbeda spesies ada yang tidak dapat melakukan perkawinan. Bagaimana terjadinya makhluk hidup yang beranekaragaman? Makhluk hidup berada di dalam lingkungan yang senantiasa berubah. Makhluk hidup harus dapat menyesuaikan diri (beradaptasi) terhadap lingkungannya. Makhluk hidup yang mampu beradaptasi akan lestari. Sebaliknya, makhluk hidup yang tidak dapat beradaptasi akan punah. Makhluk hidup yang dapat beradaptasi dengan lingkungan tersebut dapat memunculkan spesies baru.

C. Keanekaragaman Ekosistem

Anda masih ingat yang dimaksud dengan ekosistem? Ya, ekosistem merupakan suatu satuan lingkungan, yang terdiri dari unsur-unsur biotik, yaitu jenis-jenis makhluk hidup, serta unsur abiotik, yaitu faktor-faktor fisik (iklim, air, tanah) dan kimia (keasaman, salinitas) yang saling berinteraksi satu sama lainnya. Gatra yang dapat kita gunakan sebagai ciri keseluruhan ekosistem adalah energitika (taraf trofi atau makanan, yaitu produsen, konsumen, dan redusen), pendauran hara (peran pelaksana taraf trofi) dan produktivitas (hasil keseluruhan sistem).

Jika kita lihat dari komponen biotanya, jenis yang dapat hidup dalam ekosistem, ditentukan oleh hubungannya dengan jenis lain yang tinggal dalam ekosistem tersebut. Selain itu, keberadaannya ditentukan pula oleh lingkungan fisik dan kimia di sekitarnya. Dengan demikian, interaksi antarorganisme ditentukan oleh keseluruhan jenis, faktor-faktor fisik dan kimia yang menyusun ekosistem itu.

Karena ekosistem terdiri atas perpaduan berbagai jenis, dengan berbagai macam kombinasi lingkungan fisik dan kimia yang beraneka ragam maka jika susunan komponen jenis dan susunan faktor fisik serta kimianya berbeda, ekosistem yang dihasilkannya pun akan berbeda pula. Perbedaan ini juga akan terlihat pada gatra pencirian ekosistem, yaitu perbedaan energetika, pendauran hara, dan produktivitasnya. Dari kenyataan ini, memberikan kejelasan kepada kita adanya keanekaragaman ekosistem karena tidak mungkin semua ekosistem yang ada itu tersusun dari organisme-organisme yang sama dengan unsur-unsur lingkungan fisik dan kimia yang sama pula. Dengan demikian, suatu tipe ekosistem tertentu akan terdiri dari kombinasi organisme dan unsur lingkungan yang khas, yang berbeda dengan susunan kombinasi ekosistem yang lain.



Gambar 1. (A) Ekosistem hutan (kiri), (B) Ekosistem Air Laut (kanan) Sumber: William, (1989)

Dua ekosistem yang berbeda akan memiliki kombinasi komponen biotik dan abiotik yang berbeda pula. A. ekosistem hutan, B. ekosistem air laut.

Negara kita ini, dibentuk oleh sekitar 17.000 pulau besar dan kecil yang mengalami proses pembentukan yang berbeda- beda dengan sejarah geologi yang berbeda pula. Bentangan yang luas, dengan susunan daratan dan lautan yang tidak seragam, menyebabkan timbulnya keanekaragaman serta kisaran keadaan iklim yang berbeda-beda. Dengan demikian, dapat dimengerti jika perpaduan antara tanah dan iklim yang beraneka ragam, letak geografi yang membentang luas, serta jenis-jenis makhluk hidup yang sangat beragam, akan menyebabkan ekosistem yang terbentuk juga beraneka ragam.

Negara kita, memiliki sekitar 40 tipe ekosistem alam yang khas, dan sekitar 10 tipe ekosistem buatan. Untuk membuktikan, apakah benar suatu tipe ekosistem tertentu terdiri dari kombinasi organisme dengan unsur lingkungan yang khas dan berbeda dengan susunan kombinasi ekosistem yang lain? Mari kita lakukan sebuah survei lapangan. Pertama-tama, kita tentukan terlebih dahulu dua ekosistem terdekat dari tempat kita sekarang berada. Untuk ini, kita bisa saja memilih dua tipe ekosistem buatan, misalnya ekosistem kebun dan ekosistem pekarangan atau ekosistem kolam dan ekosistem sawah. Selanjutnya, kita tentukan langkah kerjanya karena tujuan kita ingin mengetahui adanya perbedaan kombinasi organisme dengan unsur lingkungan di antara kedua ekosistem tersebut maka perhatian kita pusatkan kepada kedua hal tersebut. Amati dan catat organisme-organisme yang ada pada kedua ekosistem tersebut demikian pula unsur-unsur lingkungannya.

D. Keanekaragaman Jenis

Dalam pembahasan keanekaragaman ekosistem, kita telah menyinggung tentang jenis. Apa sebenarnya yang dimaksud dengan jenis itu? Jenis (*spesies*) merupakan suatu satuan organisme yang dapat dikenal dari bentuk atau penampilannya dan terdiri atas pengelompokan populasi atau

gabungan individu yang mampu kawin sesamanya secara bebas (tetapi tidak dapat melakukannya dengan jenis lain), untuk menghasilkan keturunan yang menyerupai tetuanya. Untuk kelompok individu yang tidak berbiak secara kawin, misalnya pada kebanyakan jenis mikrobiota batasan jenis ditentukan oleh kemampuannya dalam menduduki relung yang sama.

Jenis itu terbentuk oleh kesesuaian kandungan genetik yang mengatur sifat-sifat kebakaan dengan lingkungan tempat hidupnya. Lingkungan tempat hidup jenis itu beraneka ragam, jenis yang dihasilkannya pasti akan beranekaragam pula. Proses terjadinya jenis, pada umumnya berlangsung secara perlahan-lahan dan dapat memakan waktu ribuan tahun, melalui perubahan penyesuaian atau evolusi jenis lain yang sudah ada sebelumnya. Selanjutnya, jenis yang terjadi ini juga mempunyai peluang untuk menghasilkan jenis-jenis yang lain. Selama bermiliar-miliar tahun melalui proses evolusi, telah terbentuk jutaan jenis yang berbeda-beda. Cara proses ini berlangsung mengakibatkan adanya keterkaitan antara jenis yang satu dengan jenis yang lainnya. Keterkaitan inilah disebut *kekerabatan*.

Faktor kebakaan (susunan genetik) suatu jenis, diturunkan dari suatu generasi ke generasi berikutnya. Oleh karena itu, anggota jenis yang sama akan memiliki kerangka dasar komponen genetik (kromosom) yang sama. Sebaliknya, kerangka dasar komponen genetik (kromosom) jenis yang berbeda akan berbeda pula. Perbedaan ini terjadi dalam rangka penyesuaian suatu jenis terhadap lingkungan tempat hidupnya. Jika lingkungan ini berubah, pasti akan terjadi proses penyesuaian baru oleh jenis yang bersangkutan. Dalam skala waktu yang sangat panjang, besar kemungkinan, jenis yang mengalami penyesuaian ini akan berevolusi dan membentuk jenis-jenis baru (dengan demikian menambah keanekaragaman

jenis) atau punah karena tidak dapat menyesuaikan diri karena secara alami lingkungan terus-menerus mengalami perubahan maka proses penyesuaian atau akan terus-menerus terjadi. Kini di dunia terdapat sekitar 325.000 jenis tumbuhan, 1.6.000.000 jenis hewan dan 160.000 jenis jasad renik. Masing-masing jenis ini merupakan kesatuan yang terpisah dan memiliki karakter serta kekhasan sendiri-sendiri, baik sifat-sifat dalam maupun sifat-sifat luarnya (seperti daya berbiak, ketahanan terhadap penyakit, daya saing, kemampuan berpencar, ukuran tubuh, dan unsur individu).

1. Kekayaan Jenis Makhluk Hidup di Indonesia

Ada orang yang mempertanyakan, benarkah Indonesia itu kaya akan sumber daya alam hayati lengkap dengan keanekaragamannya yang tinggi? Jika memang kaya, di mana letak kesalahan cara kita memanfaatkannya sampai kita belum tergolong bangsa yang maju dan kaya raya? Keraguan akan kekayaan alam kita ini timbul karena banyak negara di belahan bumi utara yang keanekaragaman sumber daya hayatinya lebih kecil ternyata dapat maju dan berkembang lebih cepat dari negara kita. Begitu pula kekayaan dan pendapatan per kapita penduduknya, jauh lebih besar dibandingkan dengan bangsa kita. Anomali ini dapat terjadi karena dalam mengelola sumber daya alam hayati yang relatif miskin itu, bangsa-bangsa belahan bumi utara menggunakan teknologi tinggi yang dikuasainya. Mereka kalah dalam sumber daya hayati, tetapi unggul dalam sumber daya manusianya.

Sesudah menyimak tabel rekapitulasi jumlah jenis makhluk yang menghuni bumi Indonesia, kemudian membandingkannya dengan yang terdapat di seluruh dunia, kita sebenarnya tidak perlu ragu-ragu lagi akan besarnya

khasanah keanekaragaman makhluk hidup Indonesia. Pada kenyataannya, kira-kira 10% dari semua jenis makhluk hidup yang ada pada saat ini, menghuni bumi Indonesia. Fakta

ini akan lebih menonjol lagi, mengingat luas daratan negara kita ini hanya 1,5% dari luas daratan yang terhampar di permukaan bumi. Banyaknya jenis dan keanekaragam tersebut menunjukkan betapa besar rahmat dan karunia Tuhan yang telah dilimpahkan kepada bangsa kita.

2. Keanekaragaman Mikrobiota Indonesia

Berapa sebenarnya jumlah jenis mikrobiota (jasad renik) Indonesia? Kita tidak dapat mengatakan dengan pasti karena penelitian pencacahannya belum pernah dilakukan secara menyeluruh. Akan tetapi berdasarkan data yang terpencair- pencair dan berpegang pada pola yang diperlihatkan kelompok makhluk lain yang sudah tersusun jumlah jenisnya maka dapat diduga mikrobiota yang berasosiasi bersama makhluk lainnya dalam ekosistem di sekitar kita melebihi 10% dari mikrobiota yang diperkirakan ada di dunia.

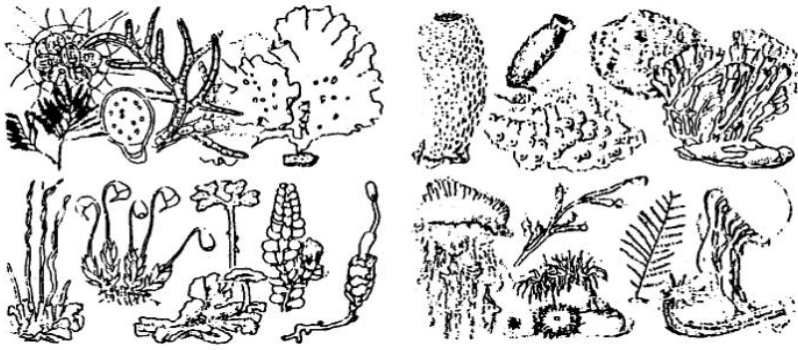
Berpegang pada hipotesis tersebut maka dunia monera (mikroba yang tidak memiliki inti sel sejati atau prokariota, seperti bakteri dan ganggang biru) di Indonesia diperhitungkan diwakili oleh sekitar 300 jenis. Contoh kelompok ini di antaranya jenis bakteri pembusuk (misalnya jenis yang menyebabkan terjadinya fermentasi terasi ataupun yang membasikan makanan), bakteri *Rhizobium* yang mampu menambat nitrogen bebas, bakteri *Pseudomonas cocovenans* yang menyebabkan keracunan mematikan bila mengontaminasi tempe bongkreng, bakteri *Escherichia coli* yang mencemari air, dan ganggang *Anabaena azollae* dimanipulasi untuk dimanfaatkan sebagai pupuk hijau karena kemampuannya memfiksasi nitrogen bebas bila bersimbiosis dengan tumbuhan paku air (*Azolla pinata*).

Dugaan konservatif jumlah jenis fungi (jamur) yang ada di kawasan kita, sekitar 12.000 jenis. Dalam jumlah ini, termasuk lumut kerak (Lichenes), jamur lendir (Mycomycota), jamur air

(Oomycota). Di negara kita sering dapat disaksikan pelbagai fenomena jamur tropik yang tidak ada duanya di dunia. Misalnya, terjadinya sapu setan pada bambu yang disebarkan oleh serangan jamur *Epichloe bambusae*, padahal di kawasan bumi lain, sapu setan disebabkan oleh gangguan mikoplasma. Jamur jelaga ditemukan dalam frekuensi yang tinggi pada pelbagai daun-daunan, suatu bentuk simbiosis khusus antara jamur dan serangga juga menyerang tumbuhan tropik yang menjadi inangnya. Panu dan kadas serta penyimpul rambut adalah penyakit manusia tropik yang disebabkan oleh jamur. Embun hitam serta jamur parasit daun lainnya terdapat dalam jumlah ribuan karena besarnya jumlah jenis tumbuhan yang dapat menjadi inangnya. Kekayaan Indonesia akan jenis cendawan (seperti kerabat jamur merang, jamur busut dan jamur jantung) juga sangat luar biasa.

Mikrobiota yang tergolong dunia tumbuhan (Plantae) diwakili oleh kelompok ganggang (Algae) dan lumut (Bryophyta). Menurut dugaan jumlah jenis ganggang meliputi ganggang hijau/Chlorophyta, ganggang kemasan/Chrysophyta, ganggang pirang-coklat/Phaeophyta, dan ganggang merah/Rhodophyta, yang ditemukan di negara kita ada 1.800 jenis. Adapun keanekaragaman jenis-jenis lumut (Bryophyta) juga tergolong sangat tinggi karena negara kita memiliki tipe habitat yang sangat cocok. Sebagai tingkat berevolusinya kelompok tumbuhan ini. Ada ahli yang menyatakan bahwa

lembah di antara punggung gunung Gede dan Pangrango di Jawa Barat merupakan satu surga bagi peminat lumut, di samping gudang jenis lumut yang terdapat di Snowdonia (Inggris Raya) dan lembah Amazon di Brazilia. Diduga di negara kita terdapat lebih dari 1.500 jenis lumut daun (Musci) lumut hati (Hepaticae) dan lumut tanduk (Anthocerotae).



Gambar 2. Mikrobiota yang Beraneka Ragam Memperkaya Khasanah Keanekaragaman Jenis Indonesia

Sumber: William, (1989)

3. Keanekaragaman Tumbuhan Berpembuluh Indonesia

Flora negara kita juga sangat kaya, diperkirakan 1.250 jenis paku-pakuan dan 25.000 tumbuhan berbunga, hidup di tanah persada ini. Suku terbesar adalah anggrek-anggrekan yang diperkirakan mempunyai 5000 jenis. Kekayaan flora kita yang besar ini antara lain merupakan akibat dari struktur vegetasi yang kompleks. Pohon-pohon tinggi sebagai kerangka, menciptakan lingkungan yang memungkinkan bagi berbagai jenis tumbuhan lain dari lumut sampai pohon kecil untuk tumbuh berlindung di bawahnya.

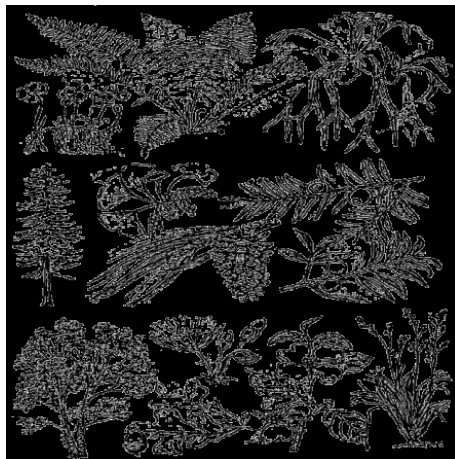
Posisi negara kita selaku gudang sumber daya jenis yang penting, terbukti dari kesepakatan para pakar yang mengakui kawasan kita sebagai salah satu bagian pusat keanekaragaman dunia. Keanekaragaman ini memang dapat disimpulkan dari besarnya jumlah jenis makhluk yang kita miliki, misalnya tumbuhan meranti-merantian (*Dipterocarpaceae*), sekitar 70% dari jenis yang ada di dunia terdapat di negara kita sehingga tidak heran kalau badan internasional seperti IBPGR (*International Board for Plant Genetic Resources*) berulang kali mensponsori ekspedisi

Internasional untuk mengeksplorasi dan mengumpulkan plasma nutfah kerabat liar tanaman budidaya Indonesia.

Kekayaan jenis kawasan Indonesia dalam skala lokal dapat diartikan sebagai jumlah jenis yang besar terdapat dalam luasan kecil. Bukti ini dapat dilihat dari pencacahan pohon yang dilakukan di Wanariset (Kalimantan Timur), dalam 1,5 ha ternyata dapat ditemukan 239 jenis tumbuhan berkayu, ini merupakan bukti bahwa hutan Indonesia merupakan hutan terkaya di dunia (Sastrapraja, et. al., 1989).

Jika berbicara masalah tanaman budidaya, kita memiliki banyak sekali jenis tanaman budidaya, seperti: coklat, cengkeh, karet, durian, rambutan, mangga, kesemek, duku, pisitan, vanili, asam, apel, jeruk, salak, pisang, jambu, buncis, kol, padi, sawi, jagung, kacang tanah, kacang kedelai, kacang bogor, kacang panjang, bayam, dan kangkung.

Untuk bambu-bambuan, kita memiliki tidak kurang dari 125 jenis bambu, seperti bambu tali, bambu pringgondani, bambu betung, bambu surat, bambu gombong, bambu haur, dan bambu tamiang. Untuk tumbuhan kayu-kayuan yang memiliki nilai ekonomi tinggi, kita memiliki tidak kurang dari 1000 jenis kayu, seperti kayu meranti, kamper, mahoni, albasia, pinus, salam, jati, ulin, johar, dan subsi.



Gambar 3. Aneka Ragam Jenis Tumbuhan Berpembuluh
Merupakan Bukti bahwa Indonesia Kaya akan Khasanah
Beraneka Ragaman Jenis

Sumber: William, (1989)

4. Keanekaragaman Hewan Indonesia

Kekayaan fauna negara kita, tercermin dari berbagai segi. Dari jumlahnya saja, diperkirakan 300.000 jenis atau sekitar 15% fauna dunia terdapat di negara kita yang hanya memiliki kawasan 2% saja dari luas dunia. Hampir semua kelompok utama dunia hewan dapat ditemukan di negeri ini. Besarnya keanekaragaman fauna ini dimungkinkan karena posisi tanah air kita yang terletak di persimpangan utara selatan dan menjadi jembatan antara dua region fauna utama dunia.

Dengan posisi yang menguntungkan itu, baik dari segi kuantitas maupun kualitas menunjukkan tingkat yang tinggi. Dari segi kualitas dapat ditunjukkan, fauna yang terdapat di negeri ini mencakup baik kelompok modern, seperti burung dan mamalia masa kini, misalnya gagak dan orang utan maupun kelompok-kelompok primitif seperti binatang berkantung, misalnya kuskus dan mamalia bertelur, misalnya nokdiak serta primata primitif, seperti kukang. Selain itu banyak kelompok yang hanya terdapat endemik di negara kita saja, misalnya burung cendrawasih, anoa, dan babi rusa. Ada juga kelompok lain yang merupakan populasi tersisa, seperti biawak, komodo, dan badak Jawa, serta jenis yang merupakan pendamping jenis sekerabat yang terdapat di bagian dunia lain, misalnya tapir dan buaya yang jenis kerabatnya terdapat di Amerika bagian Selatan.

Dari segi praktis tentu banyak pula kekayaan keanekaragaman fauna Indonesia yang mencakup tidak kurang dari 300.000 jenis. Segi ini yang patut dikemukakan adalah nilai manfaat dari keanekaragaman hewan yang terdapat di

kawasan ini. Dengan tingginya aneka ragam jenis yang terdapat di sini, tentunya peran yang dilakukan oleh jenis-jenis itu jika dikaitkan dengan kehidupan manusia juga tinggi. Ini semua tentunya terkait lebih jauh dengan sifat, perilaku, dan habitat masing-masing jenis. Makin tinggikeanekaragamannya, makin tinggi pula keanekaragaman perilaku dan habitatnya. Kenyataan ini mengakibatkan membesarnya peluang-peluang bagi manusia untuk memanfaatkannya. Hewan Indonesia telah banyak yang digunakan sebagai sumber bahan mentah untuk memenuhi berbagai kebutuhan dasar manusia, yaitu sandang, pangan, obat-obatan, bahkan papan.

Keanekaragaman hewan Indonesia juga terlihat dari persebaran geografi dan ekologi. Di sebelah barat garis Wallace, fauna Indonesia mendapat pengaruh dari fauna Asia. Untuk hewan bertulang belakang, banyak jenis besar yang terdapat di Asia daratan juga terdapat di negeri kita ini, misalnya harimau, gajah, dan badak. Di dunia terdapat lima jenis badak yang kini masih tertinggal, dua di antaranya terdapat di Indonesia. Gajah yang masih hidup ada dua jenis, satu di antaranya hidup di Indonesia. Sapi liar yang diperkirakan terdiri atas 4 jenis di Asia Tenggara, satu jenis terdapat di Indonesia. Kerbau dan harimau yang berasal dari India, terdapat pula di Indonesia. Di Kalimantan Timur terdapat mamalia air tawar (pesut mahakam) merupakan jenis yang tidak umum terdapat di Asia Tenggara. Kelompok primata juga memiliki keanekaragaman yang tinggi. Di samping itu, kelompok ini menunjukkan pula pola sebaran yang mencirikan kekhasan daerah yang dihuninya. Orang utan, misalnya hanya terdapat di Sumatera dan Kalimantan serta fosilnya ditemukan pula di Jawa. Bekantan hanya terdapat di Kalimantan, Siamang hanya di Sumatera.

Burung, reptil, amfibi, dan ikan, juga menunjukkan tingginya keanekaragaman dan kekhasan daerah atau pulau

yang dihuninya. Di dunia terdapat 8.900 jenis burung, 1.300 jenis di antaranya terdapat di Indonesia. Untuk memberi contoh kekhasan daerah, 50 jenis burung cenderawasih tidak terdapat di bagian dunia lain di luar Irian Jaya. Untuk burung-burung paruh bengkok, seperti kakaktua dan nuri, kita patut membanggakan diri karena tingginya keanekaragaman jenis. Salah satu jenis kakaktua termahal di dunia (kakaktua raja), berasal dari Indonesia.

Negara kita juga memiliki jenis reptil yang unik dan menarik. Biawak komodo, jenis biawak terbesar dan tertua yang masih hidup terdapat di pulau Komodo dan sekitarnya. Dua jenis ular sanca (*Python reticulatus* dan *P. Kurtis*) sebagai pendamping *Anaconda* yang terdapat di Amerika Selatan merupakan ular terpanjang di dunia. Ular beracun tinggi juga banyak terdapat di Indonesia, di antaranya kobra, ular weling, dan ular laut *Enhydrina*. Patut diungkapkan untuk disadari, adanya kelompok cicak rumah yang terbesar ukurannya, yaitu tokek, yang tidak terlalu umum ditemukan di bagian dunia lain. Mengenai amfibi, kekayaan yang ada ditunjukkan oleh katak yang terkonsentrasi di Kalimantan yang dihuni oleh lebih dari 70 jenis. Katak batu (*Rana macrodon*) merupakan jenis terbesar dalam kelompoknya, jenis yang terutama terdapat di Sumatera Selatan ini dapat mencapai bobot 1.500 gram.

Ikan Indonesia sudah dikenal di dunia. Tongkol, tenggiri, bandeng, bawal, kakap, baronang, dan banyak lagi jenis ikan laut yang sudah lama menjadi komoditi ekspor dan banyak dicari oleh pengusaha ikan. Di daratan pun ikan menunjukkan potensi kekayaan. Dari kelompok ikan air tawar dapat diungkap di wilayah Indonesia Barat terdapat lebih dari 500 jenis dan banyak di antaranya tergolong buas (lele-lelean). Sementara di wilayah Indonesia Timur tercatat sekitar 100 jenis ikan air tawar.

Secara pasti kelompok Invertebrata belum terungkap seluruhnya. Kelompok ini pun tidak diragukan lagi membentuk kelompok yang sangat beraneka ragam pula. Di antara Invertebrata ini, keong dan siput menunjukkan keanekaragaman yang cukup tinggi dengan beberapa keunikan. Kerang mutiara, induk penghasil permata mutiara, terdapat di lautan kita. Keong kerucut kejayaan Samudra (*Conus glorimaris*) adalah pemilik lokan yang termahal di dunia karena jarang terdapat, juga menghuni lautan kita. Di daratan atau di perairan tawar, keong-keongan juga memberikan saham yang besar kepada khasanah fauna kita. Gondang merupakan salah satu keong air tawar yang terbesar, yang dapat mencapai ukuran sebesar bola tenis. Keong ini merupakan sumber protein hewan yang cukup berpotensi.

Binatang beruas (Arthropoda), juga menunjukkan keanekaragaman yang tinggi dan menarik. Kalajengking besar yang dapat mencapai ukuran panjang 15 cm dan laba-laba yang dapat menangkap burung dimiliki pula oleh negeri tercinta ini. Ketam kenari, dari kelompok udang dan kepiting merupakan kepiting darat raksasa berukuran bentangan kaki, dapat mencapai 60 cm lebih. Kelompok ini yang terdapat di Samudra ditunjukkan oleh kelompok udang, yang kini merupakan primadona ekspor perikanan. Lobster dan kepiting pun merupakan penyusun kekayaan dari kelompok ini.

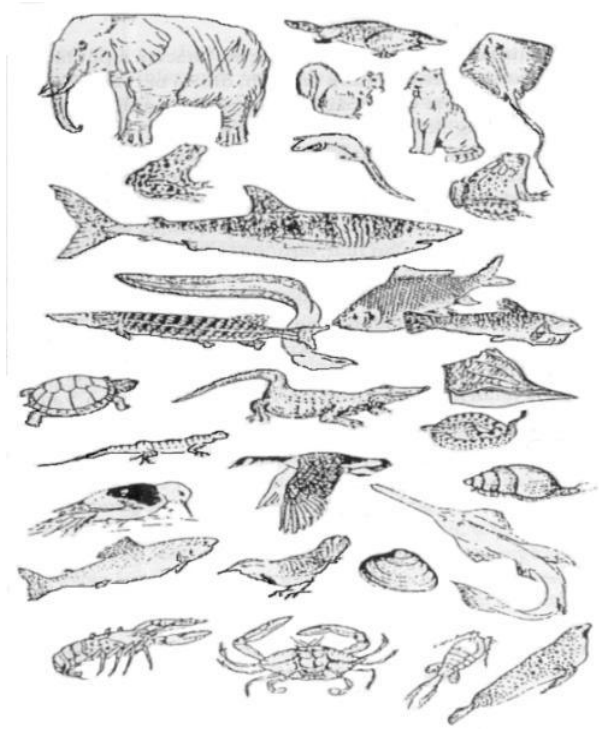
Dari dunia serangga kita mengenal, di antaranya ulat sutra, lebah madu dan kutu lak. Masih banyak lagi jenis-jenis serangga lainnya yang melengkapi khasanah keanekaragaman jenis hewan Indonesia, yang menunjukkan adanya pengaruh kawasan besar yang meliputi Indonesia. Kita hanya perlu mengingat, terdapat ratusan jenis kupu-kupu yang indah yang menunjukkan kekuatan Indonesia wilayah timur, ribuan tawon-tawon kecil yang menyerbuki bunga dan memarasit tumbuhannya, serta puluhan ribu jenis lalat yang beraneka

ragam perilakunya, yang menyebar mengikuti bagian barat, timur dan peralihan. Keanekaragaman semacam itu pasti terdapat pula pada kelompok lain, seperti cacing penggembur tanah, lipan, kaki seribu, dan hewan beruas lainnya.

Di kawasan hutan bakau, ular laut yang merupakan jenis paling berbisa dapat ditemukan di Indonesia. Selain itu, daerah ini juga merupakan tempat pelbagai kelompok binatang laut memijah atau meletakkan dan menetas telur, misalnya nener bandeng dan benur udang. Berbagai jenis kepiting baik yang dapat dimakan maupun tidak, berjenis ikan gelodok dan bermacam-macam siput laut dapat ditemukan di kawasan ini. Di atas vegetasinya yang tumbuh, di sini berbagai macam jenis burung, terutama pemakan ikan dapat dijumpai bertengger, membuat sarang, dan mengasuh anaknya. Masih banyak lagi kelompok lain yang dapat dijumpai di daerah ini.

Ke arah daratan susunan komunitas faunanya berganti lagi sesuai dengan komunitas ekosistemnya. Tentunya kepulauan yang berjumlah ribuan dengan ratusan gunung di Indonesia, sangat kaya dengan keanekaragaman hewannya. Keadaan fisik yang demikian ini, ditambah lagi dengan kebudayaan bangsa yang beraneka ragam, memperkaya lagi keadaan fauna yang diintroduksi dari luar, terutama yang didomestikasi. Walaupun dari kelompok asli sendiri belum

banyak jenis binatang yang telah didomestikasi dan ditenakkan. Bawaan dari luar yang telah beratus bahkan beribu tahun diintroduksi ke negeri ini telah berkembang menjadi bagian fauna lokal. Ayam, itik, merpati, domba, kambing, kerbau, sapi, babi, kuda, anjing, kucing, ikan mas, gurame, dan banyak lagi hewan peliharaan lainnya yang telah berkembang menjadi galur-galur yang sangat beraneka ragam yang telah menyesuaikan diri dengan lingkungan yang terdapat di sini dan telah membentuk keanekaragaman genetiknya sendiri-sendiri.



Gambar 4. Indonesia Memiliki Kekayaan Jenis Fauna yang Luar Biasa

Sumber: William, (1989)

E. Keanekaragaman Genetik

Ayam merupakan contoh dari satu jenis hewan, yakni jenis ayam. Ternyata dalam jenis yang sama ini masih kita temukan banyak keragaman, baik dalam bentuk, penampilan maupun sifat-sifatnya. Anda mengenal yang dinamakan ayam bangkok, ayam pelung, ayam buras, ayam hutan, ayam bekisar, ayam kinantan, ayam katai, ayam lampung, ayam cemara, ayam broiler, ayam cemani, ayam nunukan, dan ayam-ayam yang lainnya. Ini merupakan bukti masih terdapat keanekaragaman di dalam lingkup jenis. Keanekaragaman ini dinamakan keanekaragaman genetik atau keanekaragaman plasma nutfah.

Setiap jenis, umumnya terdiri atas beberapa populasi yang tersusun dari sekumpulan individu yang banyak sekali jumlahnya. Seperti telah kita pelajari bersama, seluruh individu suatu jenis itu memiliki kerangka dasar komponen genetik yang sama. Akan tetapi, setiap kerangka dasar tadi tersusun oleh ribuan faktor pengatur kebakaan. Faktor inilah yang menentukan apakah suatu bibit jagung itu berbiji putih, kuning, merah, ungu atau lainnya atau apakah seekor ayam itu akan berbulu hitam, cokelat, putih, abu-abu atau totol. Untuk setiap sifat yang nampak tadi atau yang tidak jelas terlihat, akan ada satu faktor pengaturnya yang disebut *gen*.

Sekalipun individu-individu suatu jenis itu memiliki kerangka dasar komponen genetik yang sama, setiap individu ternyata memiliki komponen faktor yang berbeda-beda, bergantung kepada penurunnya. Susunan perangkat faktor genetik ini menentukan sifat yang disandang individu yang bersangkutan. Keanekaragaman genetik suatu jenis ditentukan oleh keanekaragaman susunan faktor genetik yang terkandung dalam jenis yang bersangkutan.

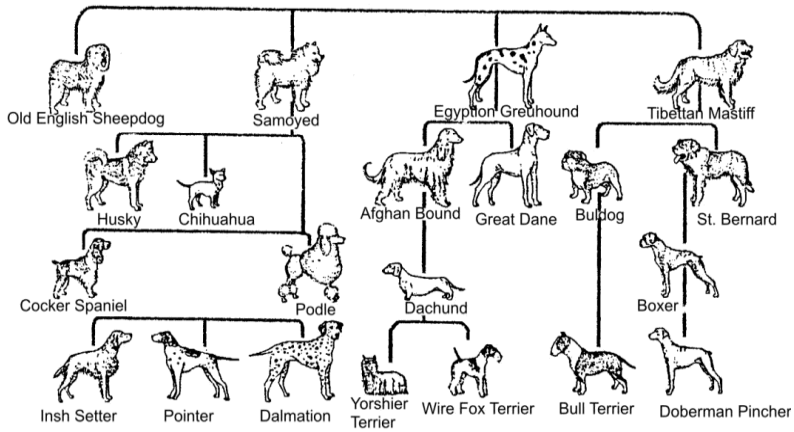
Jadi, masing-masing individu dalam suatu jenis mempunyai susunan faktor genetik yang tidak sama dengan susunan genetik individu yang lain meskipun dalam jenis yang sama. Selain ditentukan oleh faktor genetiknya, sifat yang terlihat dari luar pada masing-masing individu, ditentukan pula oleh keadaan lingkungan atau perpaduan keduanya. Dua individu yang mempunyai susunan genetik yang sama akan menunjukkan sifat luar yang sangat berbeda. Jika masing-masing lingkungan hidupnya sangat berbeda. Sebaliknya, dua individu yang memiliki susunan genetik yang berbeda boleh jadi akan menunjukkan beberapa sifat luar yang mirip bila keduanya hidup dalam lingkungan yang sama.

Walaupun masing-masing individu itu memiliki susunan genetik yang berbeda, di dalam tingkat jenisnya akan

terdapat pengelompokan yang memungkinkan adanya kisaran kesamaan dalam taraf-taraf tertentu, membentuk lungkang (*pool*) individu yang mempunyai kesamaan dalam kisaran lingkungan itu.

Untuk memperoleh gambaran tentang keanekaragaman genetik, kita ambil beberapa contoh hewan dan tumbuhan yang ada di sekitar kita. Contoh ini terlihat pada matoa yang umum terdapat di Irian Jaya, tercatat tidak kurang dari 9 penampilan matoa. Sagu yang terdapat di Ambon, masyarakat mengenal sedikitnya 6 macam pokok sagu. Mangga, kita mengenal ada yang dinamakan mangga gedong, mangga golek, mangga simanalagi, mangga apel, mangga cengkir, mangga indramayu, mangga sengir, mangga bapang, mangga arumanis. Rambutan, kita mengenal rambutan aceh, rambutan lebakbulus, rambutan rapiah, rambutan simacan, dan rambutan gelong. Padi, kita mengenal padi gogo, padi sedane, padi cempaka, padi rakim, padi ketan, padi pelita, padi ciliwung, padi IR, dan yang lainnya. Kerbau, kita mengenal kerbau sumba, kerbau lumpur, kerbau belang. Itik, kita mengenal itik alabio, itik tegal, itik bali, dan itik kerawang.

Keanekaragaman plasma nutfah yang terdapat di negara kita ini sungguh luar biasa sehingga tidak heran kalau negara kita ini mendapat julukan “mega biodiversity”. Di alam, masih tersimpan dalam jumlah besar plasma nutfah binatang yang mempunyai potensi besar untuk dikembangkan melalui proses penjinakan, seleksi, kemudian pemuliaan. Rusa bawean, rusa timor, babi rusa, belibis, gemak, balam, tambra, siluk, belida, buaya, dan puluhan lainnya lagi adalah jenis-jenis yang menunggu giliran sentuhan penelitian. Apabila jenis-jenis ini sudah dapat ditenakkan, keanekaragaman genetik di kalangan masing-masing pasti akan berkembang pula. Dengan perkembangan keanekaragaman ini makin kayalah khasanah plasma nutfah hewan Indonesia.



Gambar 5. Keanekaragaman Genetik Merupakan Keanekaragaman di Dalam Suatu Jenis yang Diukur oleh Variasi Gen

Sumber: William, (1989)

BAB 10

KLASIFIKASI MAKHLUK HIDUP

Pernahkah kamu berpikir makhluk hidup apa sajakah yang menghuni bumi ini? Apa saja jenisnya? Bagaimana membedakan jenis yang satu dengan jenis yang lain? Berbagai makhluk hidup telah diciptakan dengan ciri-ciri khusus, yang dapat membedakan jenis makhluk hidup yang satu dengan yang lainnya.

Klasifikasi spesies memungkinkan pembagian makhluk hidup menjadi kelompok yang lebih kecil dan lebih terspesialisasi sehingga dapat memudahkan kita untuk mengenalinya. Makhluk hidup ini kemudian diklasifikasikan menjadi 5 kingdom, yaitu: Archaeobacteria & Eubacteria, Protista, Fungi, Plantae dan Animalia.

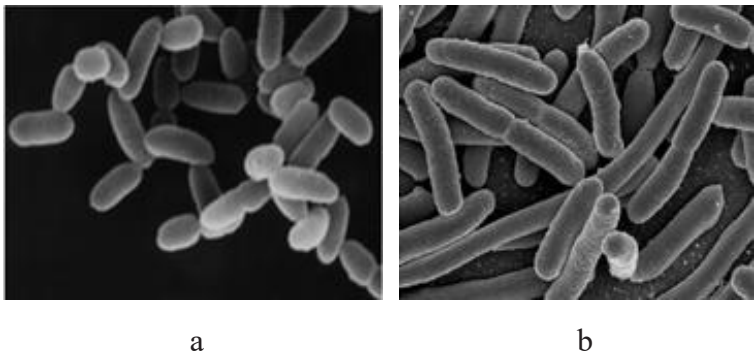
Orang pertama yang membagi makhluk hidup menjadi lima kingdom adalah ahli ekologi Amerika Utara bernama Robert Whittaker, yang berhasil membuktikan bahwa Fungi tidak termasuk ke dalam kingdom Plantae pada tahun 1959.

A. Kingdom Archaeobacteria & Eubacteria

Archaeobacteria dan Eubacteria merupakan mikroorganisme bersel tunggal, yang biasanya disebut prokariota. Perbedaan utama antara archaeobacteria dan eubacteria adalah bahwa archaeobacteria biasanya ditemukan dalam kondisi lingkungan yang ekstrem sedangkan eubacteria ditemukan dimana-mana di bumi (Panawala, 2017).

Archaeobacteria merupakan organisme prokariotik, uniseluler, bersifat mikroskopik, dinding sel bukan peptidoglikon, dan secara biokimia berbeda dengan eubacteria. Bersifat metanogen, anaerob, dan dapat ditemukan pada tempat kotor, sistem pencernaan hewan, halofil ekstrem, menempati

lingkungan bergaram, termoplek pada tempat panas, serta juga dapat ditemukan di lingkungan asam (Nugroho & Sumardi, 2004).



Gambar 1. Organisme Prokariotik; (a) Archaeobacteria, dan (b) Eubacteria (Sumber: Panawala, 2017)

Eubacteria merupakan organisme prokariotik, tidak mempunyai inti dan organel yang bermembran, uniseluler dan bersifat mikroskopik, dinding sel tersusun dari peptidoglikon. Membentuk koloni, sebagai dekomposer, parasitik dan patogenik, beberapa spesiesnya bersifat kemოსintetik autotrof, beberapa bersifat fotosintetik, ada yang berperan penting pada daur nitrogen dan daur lainnya. Dapat ditemukan hampir diseluruh permukaan bumi (Nugroho & Sumardi, 2004).

Perbedaan dari Archaeobacteria dan Eubacteria ditampilkan pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Perbedaan Antara Archaeobacteria dan Eubacteria
Sumber: Panawala (2017)

Perbedaan	Archaeobacteria	Eubacteria
Nama lain	disebut juga bakteri purba	disebut juga bakteri sejati
Ukuran	berdiameter	berdiameter 0,55 μm

Perbedaan	Archaeobacteria	Eubacteria
	0,115 μm	
Bentuk	berbentuk bola, batang, pelat, spiral, datar atau berbentuk persegi	berbentuk kokus, basil, vibrio, batang, filamen atau spirochetes
Kompleksitas	lebih sederhana dalam organisasinya	lebih kompleks daripada archaeobacteria
Habitat	ditemukan di lingkungan yang ekstrem	ditemukan di mana-mana di bumi
Dinding sel	terdiri dari pseudo peptidoglikan	terdiri dari peptidoglikan dengan asam muramat
Lipid membran	rantai alifatik, bercabang, terikat eter, mengandung D-gliserol fosfat	rantai lurus asam lemak yang terkait dengan ester, mengandung L-gliserol fosfat
RNA polimerasi	terdiri dari pola subunit kompleks, yang mirip dengan RNA polimerase eukariotik	terdiri dari pola subunit sederhana
RNA transfer	tidak ada timin di lengan T ψ C tRNA, membawa metionin	terdapat timin di sebagian besar tRNA, membawa N-formyl methionine

Perbedaan	Archaeobacteria	Eubacteria
Introns	ada	tidak ada
Reproduksi	aseksual seperti pembelahan biner, tunas dan fragmentasi	pembelahan biner, tunas & fragmentasi, serta mampu menghasilkan spora agar tetap tidak aktif selama kondisi yang tidak menguntungkan
Glikolisis / Siklus krebs	tidak ada	Ada
Jenis	metanogen, halofil, dan termofil	gram positif dan gram negatif
Contoh	Halobacterium, Lokiarchaeum, Thermoproteus, Pyrobaculum, Thermoplasma dan Ferroplasma	Mycobacteria, Bacillus, Sporohalobacter, Clostridium dan Anaerobacter

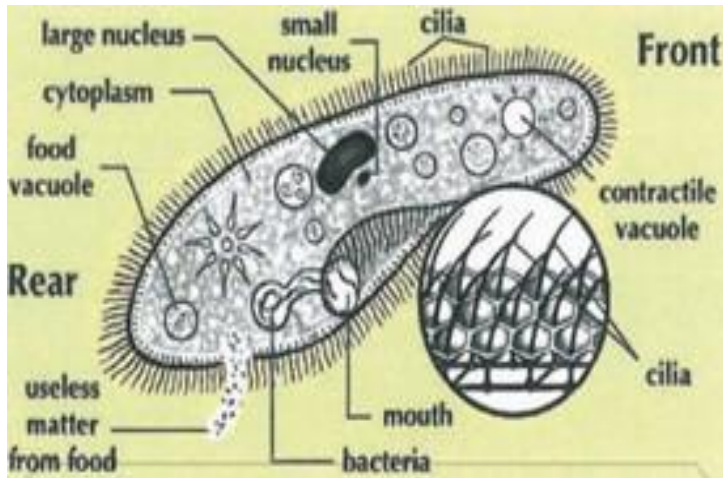
B. Kingdom Protista

Protista berasal dari kata Yunani, “protos” yang berarti pertama, dengan demikian protista disebut juga sebagai organisme eukariot pertama atau paling sederhana. Kingdom protista bersifat polifiletik, dimana anggotanya berasal dari berbagai jenis nenek moyang, diantaranya protista mirip hewan (protozoa), protista mirip tumbuhan (algae) dan protista mirip jamur. Ciri-ciri umum dari kingdom protista adalah merupakan organisme eukariotik, ada yang uniselular dan ada pula yang multiselular, dan umumnya bersifat aerob. Protozoa dan algae berhabitat di perairan, baik air tawar, payau maupun

air laut. Sedangkan protista mirip jamur habitatnya di kayu busuk, batang pohon, dan pada tempat yang basah/lembab (Rothschild, 1989; Finlay, 2004; Hariyani, Slamet, & Santri, 2017).

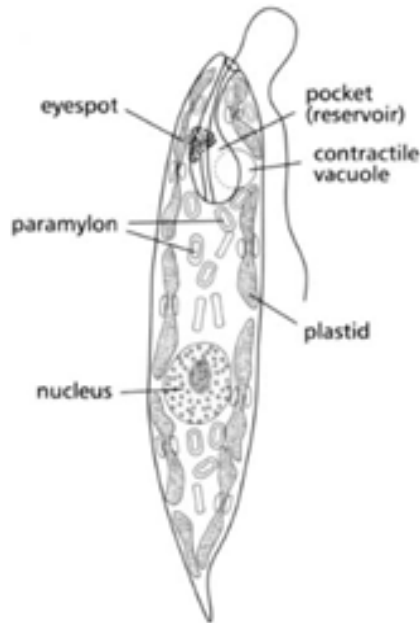
Adapun pengelompokan protista dijabarkan sebagai berikut (Nugroho & Sumardi, 2004):

1. *Protozoa*; merupakan organisme mikroskopik, bersifat heterotropik, dapat bergerak dengan bantuan flagel, silia ataupun pseudopodia. Terdiri dari 6 filum yaitu: *Rhizopoda*, *Actinopoda*, *Foraminifera*, *Apicomplexa*, *Zoomastigina*, dan *Ciliapora*.



Gambar 2. *Paramecium* (Sumber: Hollar, 2012)

2. *Algae*; merupakan organisme fotosintetik dan memiliki klorofil a. Tubuhnya mengandung pigmen warna coklat dan merah. Terdiri dari 7 filum yaitu: *Dinoflagellata*, *Chrysophyta*, *Bacillariophyta*, *Euglenophyta*, *Chlorophyta*, *Phaeophyta*, dan *Phodophyta*.



Gambar 3. Struktur Tubuh *Euglena*

(Sumber: Bellinger & Sigee, 2010)

3. Protisata seperti jamur; bersifat heterotropik, reproduksi dengan spora. Terdiri dari 2 filum yaitu: *Slime mold* dan *Water mold*.

C. Kingdom Fungi

Fungi atau jamur merupakan organisme eukariotik yang hidup pada tempat-tempat yang lembap, air tawar, tempat yang asam, sedikit yang hidup di perairan laut, dan adapula yang bersimbiosis dengan *Algae* hingga membentuk lumut kerak (*lichenes*).

Adapun ciri-ciri morfologi jamur dijabarkan sebagai berikut (Petersen, 2013; Webster & Weber 2007; Stajich & others, 2019):

1. Jamur tidak memiliki klorofil, hal inilah yang menyebabkan jamur tidak dikelompokkan pada kingdom *Plantae*,

2. Sebagian besar jamur bersifat heterotrofik (mencerna makanan dengan enzim yang disekresikan), ada juga yang bersifat saprofit (menyerap bahan organik terlarut dari substrat mati),
3. Memiliki dinding sel yang terbuat dari kitin dan polisakarida,
4. Umumnya multiseluler,
5. Tubuh terdiri dari struktur seperti benang yang panjang dan ramping disebut hifa,

Jaringan hifa dikenal sebagai miselium Reproduksi jamur dibedakan menjadi tiga (Rakhmawati, 2013; Stephenson, 2010), yaitu:

1. Reproduksi Vegetatif

Reproduksi ini melibatkan proporsi somatik dari thallus jamur di mana individu baru terbentuk tanpa produksi biji atau spora melalui meiosis atau *syngamy* (pembuahan). Reproduksi vegetatif dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- a. Fragmentasi,
- b. *Fission* (pembelahan spontan),
- c. *Budding* (pembentukan tunas),
- d. *Oidia* (spora),
- e. *Chlamydospores* (sel-sel hifa),
- f. *Rhizomorphs* (serupa akar atau tali miselium),
- g. *Sclerotia* (massa kompak miselium jamur yang mengeras dan mengandung cadangan makanan).

2. Reproduksi Aseksual

Reproduksi ini terjadi dengan pembentukan sel reproduksi khusus yang disebut spora. Setiap spora berkembang menjadi miselium baru. Spora ini diproduksi sebagai hasil mitosis pada sel induk dan

karenanya disebut mitospora. Mitospora yang dihasilkan jamur terdiri dari:

- a. *Sporangiospores*, hifa yang tumbuh tegak pada permukaan substrat dan memiliki kotak spora (sporangium). Sporangiospora ada yang motil dan ada yang non-motil.
- b. *Zoospores*, spora motil (karena memiliki flagel) dan tidak memiliki dinding sel,
- c. *Conidiophores*, hifa pada jamur yang khusus menyangga konidia, dan bersifat non-motil.

3. Reproduksi Seksual

Reproduksi seksual melibatkan fusi dua sel kelamin yang kompatibel atau gamet dari strain yang berlawanan. Organ kelamin jamur disebut gametangia. Gametangia jantan disebut antheridia dan yang betina ascogonia. Reproduksi seksual melibatkan tiga fase, yaitu:

- a. *Plasmogamy*, penyatuan protoplas hifa atau sel reproduksi, satu dari jantan dan satu dari betina untuk menghasilkan inti dari dua induk yang berdekatan sebagai satu pasangan.
- b. *Karyogamy*, Fusi dua inti yang terjadi pada fase berikutnya (setelah *plasmogamy*).
- c. Meiosis, proses pembelahan yang terjadi setelah *karyogamy* dan menghasilkan empat spora yang berbeda secara genetik.

Klasifikasi jamur didasarkan pada struktur tubuhnya, yaitu ada tidaknya sekat pada hifa, yang dijabarkan sebagai berikut (Petersen, 2013; National Council of Educational Research and Training / NCERT, 2019a):

1. Zygomycota

Zygomycota merupakan kelompok jamur yang membentuk spora istirahat berdinding tebal yang dikenal dengan *zigospora*. Umumnya jamur ini bersifat saprofit. Sel nya terdiri dari banyak inti sel dengan hifa yang tidak bersekat. Contohnya *Rhizopus oryzae* dan *Mucor javanic* Ascomycota

Dikenal sebagai jamur kantung, umumnya multiseluler, namun ada beberapa yang uniseluler. Bersifat saprofit, pengurai, parasit atau koprofil. Miselium bercabang dan terpisah. Dinding selnya terdiri dari zat kitin. Spora aseksual adalah konidia yang diproduksi secara eksogen pada miselium khusus yang disebut konidiofor. Spora seksual disebut askospora yang diproduksi secara endogen di dalam kantung seperti asci (ascus tunggal). Anggotanya terdiri dari 3 kelas, yaitu *Hemiascomycetes*, *Plectomycetes*, dan *Pyrenomycetes*. Contohnya *Aspergillus fumigatus* dan *Penicillium*, serta *Neurospor*.

2. Basidiomycota

Klasifikasi fungi *Basidiomycota* mencakup sebagian besar spesies makroskopis dan amat mencolok, seperti *mushrooms* (jamur). Jamur ini tumbuh di tanah, di batang kayu dan pohon atau tubuh tanaman yang hidup sebagai parasit. Miselium bercabang dan terpisah. Reproduksi vegetatif dengan fragmentasi. Organ seks tidak ada, tetapi plasmogami disebabkan oleh fusi dua sel vegetatif atau somatik dari strain atau genotipe yang berbeda. Struktur yang dihasilkan adalah dikariotik yang pada akhirnya membentuk basidium. Kariogami dan meiosis terjadi di basidium yang menghasilkan empat basidiospora. Basidiospora diproduksi secara eksogen di basidium. Contohnya *Volvariella volvacea.us*

3. Deuteromycota

Umumnya dikenal sebagai jamur tidak sempurna karena hanya memiliki fase aseksual atau vegetatif. Deuteromycetes berkembang biak hanya dengan spora aseksual yang dikenal sebagai konidia. Miseliumnya bercabang dan terpisah. Beberapa anggota adalah saprofit atau parasit sementara sejumlah besar dari mereka adalah pengurai sampah dan membantu dalam siklus mineral. Contohnya adalah *Candida albicans*, *Alternaria*, *Colletotrichum* dan *Trichoderma*.

Adapun peran jamur di alam dijabarkan sebagai berikut (Stephenson, 2010):

1. Pendaaur ulang bahan organik yang telah mati; jamur sebagai saprotrof, baik di ekosistem darat maupun perairan, jamur merupakan organisme yang bertanggungjawab untuk mengurai bahan organik mati, khususnya dari tumbuhan yang mati.
2. Perusak atau pelapuk kayu; contohnya jamur pelapuk putih yang memiliki enzim yang diperlukan untuk mendegradasi selulosa dan lignin secara bersamaan. Sebagian besar jamur ascomycetes, dengan spesies *Chaetomium* termasuk yang paling umum dan paling terkenal dalam pembusukan lunak kayu.
3. Pengurai daun dan bagian tanaman yang bukan kayu.
4. Pengurai lumut hati, lumut tanduk, dan lumut.
5. Pengurai kotoran; jamur yang berasosiasi dengan kotoran herbivora merupakan kelompok yang penting secara ekologis, mereka membantu proses pembusukan kotoran herbivora dengan lebih cepat.
6. *Plant Symbionts*; jamur menguntungkan tanaman dengan meningkatkan kemampuan tanaman dalam

menyerap air dan nutrisi dari dalam tanah, sedangkan tanaman menguntungkan jamur dengan menjadi pemasok molekul organik yang dihasilkan dari fotosintesis. Selain itu, keberadaan jamur dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap tekanan lingkungan seperti kekeringan dan mengurangi kemungkinan tanaman terinfeksi oleh jamur patogen lainnya.

7. Makanan untuk hewan; tubuh buah dari jamur saprotrofik dan mikoriza menyediakan sumber makanan bagi hewan, mulai dari serangga dan invertebrata lainnya, hewan pengerat dan mamalia besar.
8. Tanaman parasit dan patogen; jamur juga memiliki peran penting sebagai parasit dan patogen tumbuhan.

D. Kingdom Plantae

Plantae merupakan organisme eukariotik fotoautotropik dan multiselular. Umumnya berhabitat di darat, berkembangbiakan secara seksual dan aseksual (Nugroho & Sumardi, 2004). Memiliki dinding sel yang terbuat dari selulosa, menggunakan klorofil untuk fotosintesis, dan merupakan sumber utama penghasil oksigen bagi atmosfer bumi.

Klasifikasi kingdom plantae dijabarkan sebagai berikut (Nugroho & Sumardi, 2004; Campbell & Reece, 2010; Tjitrosoepomo, 2009):

1. *Schizophyta* merupakan tumbuhan belah, dengan ciri-cirinya adalah sebagai berikut: (a) tubuh hanya terdiri dari satu sel; (b) protoplas belum terdiferensiasi dengan jelas; (c) memiliki perkembangan filogenetik paling rendah; (d) tumbuhan yang paling tua atau primitive; (e) inti belum tampak nyata; dan (f) berkembang biak dengan cara membelah diri.

Klasifikasinya terdiri dari kelas bakteri (Schizomycetes) dan kelas ganggang hijau- biru (Chyanophyceae/Scizophyceae).

2. *Thallophyta* atau *algae* merupakan organisme yang mengandung klorofil a, b, dan betakarotin, memiliki membrane tilakoid yang menyatu membentuk grana, berbentuk lembaran dengan ukuran yang bervariasi, dapat ditemui di berbagai habitat, yaitu batu lembab, tanah dan kayu. Alga berkembang biak dengan metode vegetatif (fragmentasi), aseksual (dengan berbagai jenis spora), dan seksual (dengan perpaduan dua gamet). Klasifikasinya dibedakan menjadi *Chlorophyceae* (Alga Hijau), *Phaeophyceae* (Alga Coklat), dan *Rhodophyceae* (Alga Merah).
3. *Bryophyta* atau lumut, merupakan tumbuhan yang hidup di tanah dan sangat bergantung pada ketersediaan air untuk reproduksi seksualnya. Tubuhnya belum memiliki akar, batang, dan daun sejati, namun memiliki struktur seperti akar, daun atau seperti batang, serta belum memiliki berkas pengangkut. Tubuh utamanya adalah haploid, menghasilkan gamet, dan disebut fase gametofit. Klasifikasinya terdiri dari *Moss* (lumut daun), *Liverwort* (lumut hati), dan *Hornwort* (lumut tanduk).
4. *Pteridophyta* atau tumbuhan paku, merupakan tumbuhan yang telah dapat dibedakan antara akar, batang dan daun serta mempunyai jaringan/berkas pengangkut air dan zat lainnya. Tubuh tumbuhan paku merupakan fase sporofit, sedangkan gametofit berupa protalium. *Pteridophyta* dapat ditemukan di tempat yang sejuk, lembab, dan teduh meskipun beberapa dapat tumbuh dengan baik dalam kondisi tanah berpasir.

Klasifikasinya dibedakan menjadi *Psilophyta* (paku purba), *Lycopodiophyta* (paku kawat), *Equisetophyta* (paku ekor kuda), dan *Pterophyta* (Paku sejati).

5. *Spermatophyta* merupakan tumbuhan yang memiliki suatu organ yang berupa biji, umumnya bersifat autotrof dan melakukan fotosintesis. Ciri-ciri dari *spermatophyte* adalah sebagai berikut: (a) struktur tubuh merupakan generasi sporofit, gametofit semakin sederhana dan merupakan bagian sporofit; (b) sudah memiliki bunga; (c) memiliki biji; (d) tubuh sudah dapat dibedakan antara akar, batang, daun, bunga dan buah, serta telah memiliki xilem dan floem; (e) memiliki alat perkembangbiakkan generatif berupa strobilus (pada *Gymnospermae*) dan bunga (pada *Angiospermae*).

Klasifikasinya dibedakan berdasarkan letak bakal biji, yaitu tumbuhan berbiji tertutup (*Angiospermae*) dan tumbuhan berbiji terbuka (*Gymnospermae*). *Angiospermae* terdiri dari *Monocotyledonae* dan *Dicotyledonae*. *Gymnospermae* terdiri dari *Pinophyta*, *Ginkgophyta*, *Cycadophyta*, dan *Gnetophyta*.

E. Kingdom Animalia

Animalia merupakan organisme eukariot multiseluler, bersifat heterotrof, memiliki jaringan yang menyusun sistem organ yang kompleks, umumnya dapat bergerak karena adanya kontraksi otot, dan memiliki jaringan saraf sebagai koordinasi respon terhadap rangsangan (Nugroho & Sumardi, 2004). Kingdom *animalia* secara umum diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu vertebrata (hewan yang memiliki *notochord*) dan invertebrata (hewan yang tidak memiliki *notochord*).

Adapun klasifikasi dari hewan vertebrata dijabarkan sebagai berikut:

1. *Pisces* atau ikan, merupakan hewan vertebrata yang hidup di air dan bernafas dengan insang, bersifat

poikilotermik. Pisces dibedakan menjadi tiga kelas yaitu:

- a. Agnatha, merupakan hewan bertubuh memanjang dengan 6-15 pasang celah insang. Siklostom memiliki mulut yang menghisap dan melingkar tanpa rahang. Tubuhnya tidak memiliki sisik dan sirip berpasangan. Contoh *Petromyzon (Lamprey)* dan *Myxine (Hagfish)* (NCERT, 2019b).
 - b. Chondrichthyes, merupakan hewan laut bertubuh ramping dan memiliki endoskeleton tulang rawan, mulut terletak di bagian perut. Fertilisasi internal dan beberapa diantaranya vivipar. Contoh *Scoliodon*, *Pristis*, *Carcharodon*, *Trygon* (NCERT, 2019b).
 - c. Osteichthyes, merupakan hewan perairan laut dan air tawar dengan endoskeleton bertulang. Tubuh mereka ramping, dengan mulut sebagian besar terminal. Fertilisasi eksternal dan kebanyakan ovipar. Contoh *Marine-Exocoetus*, *Hippocampus*, *Freshwater – Labeo*, *Catla*, *Clarias*, *Aquarium – Betta*, *Pterophyllum* (NCERT, 2019b).
2. Amfibhia, merupakan hewan yang hidup di habitat akuatik maupun darat. Tubuh terbagi menjadi kepala dan batang. Kulit amfibi lembab (tanpa sisik). Mata memiliki kelopak mata. Respirasi dilakukan dengan insang, paru-paru dan melalui kulit. Jenis kelamin terpisah, fertilisasi bersifat eksternal, ovipar dan perkembangannya tidak langsung. Contohnya *Bufo*, *Rana*, *Hyla*, *Salamandra*, *Ichthyophis* (NCERT, 2019b).
 3. Reptile, merupakan hewan yang bergerak merayap atau merangkak, sebagian besar adalah hewan darat

dan tubuhnya ditutupi oleh kulit kering, sisik atau sisik epidermis. Reptil bersifat poikilotherms. Jenis kelamin terpisah, fertilisasi internal, ovipar dan perkembangannya langsung. Contoh *Chelone*, *Testudo*, *Chameleon*, *Calotes*, *Crocodilus*, *Alligator*, *Hemidactylus*, *Poisonous snakes* – *Naja*, *Bangarus*, dan *Vipera* (NCERT, 2019b).

4. Aves, merupakan hewan yang memiliki bulu dan sebagian besar dapat terbang. Mereka memiliki paruh, kaki depan termodifikasi menjadi sayap. Tungkai belakang umumnya memiliki sisik dan termodifikasi untuk berjalan, berenang atau menggenggam dahan pohon. Endoskeleton mengeras (bertulang) dan tulang panjang berlubang dengan rongga udara (*pneumatik*). Aves adalah hewan *homoiothermous* yaitu mampu mempertahankan suhu tubuh yang konstan. Respirasi dilakukan dengan paru-paru dan kantung udara. Jenis kelamin terpisah, fertilisasi internal, ovipar dan perkembangannya langsung. Contoh *Corvus*, *Columba*, *Psittacula*, *Struthio*, *Pavo*, *Aptenodytes*, *Neophron* (NCERT, 2019b).
5. Mamalia, merupakan hewan yang dapat ditemukan di berbagai habitat, di kutub, gurun, pegunungan, hutan, padang rumput, dan gua-gua gelap. Beberapa mamalia telah beradaptasi untuk terbang atau hidup di air. Ciri khas mamalia adalah memiliki kelenjar susu. Kulit mamalia memiliki keunikan dalam memiliki rambut. Bersifat *homothermous*, respirasi dilakukan dengan paru-paru. Jenis kelamin terpisah, fertilisasi internal, vivipar dengan sedikit pengecualian dan perkembangannya langsung. Contoh *Oviparous-Ornithorhynchus*, *Viviparous Macropus*, *Pteropus*, *Camelus*, *Macaca*, *Rattus*, *Delphinus*, *Balaenoptera*, *Panthera tigris*, dan sebagainya (NCERT, 2019b).

Menurut (Reece, 2010) β dijabarkan sebagai berikut:

1. *Porifera* atau *Calcarea* dikenal dengan nama spons. *Porifera* disebut sebagai hewan berpori. *Porifera* diklasifikasikan menjadi: *Calcarea*, *Hexactinellida*, dan *Demospongia*.
2. *Cnidaria* juga dikenal dengan nama *Coelenterata*. *Coelenterata* disebut juga sebagai hewan berongga. *Coelenterata* diklasifikasikan menjadi *Hydrozoa*, *Scyphozoa*, *Cubozoa*, dan *Anthozoa*.
3. *Plathyhelminthes* atau disebut juga dengan cacing pipih. Cacing ini belum mempunyai rongga tubuh (selomata) sehingga bentuknya pipih seperti daun/pita. Cacing ini diklasifikasikan menjadi *Tubellaria*, *Monogenea*, *Trematoda*, dan *Cestoda*.
4. *Mollusca* merupakan hewan yang bertubuh lunak. Moluska diklasifikasikan menjadi *Polyplacophora*, *Gastropoda*, *Bivalvia*, dan *Cephalopoda*.
5. *Annelida* merupakan cacing beruas dan bersifat selomata. Tubuhnya bersegmen-segmen menyerupai cincin atau gelang, sehingga disebut juga dengan nama cacing gelang. Klasifikasinya terdiri dari *Oligochaeta*, *Polychaeta*, dan *Hirudinea*.
6. *Nematoda* disebut juga cacing giling atau cacing benang, Hidup sebagai endoparasit pada hewan, tumbuhan, atau hidup bebas di dalam air dan tanah. Contoh dari cacing ini adalah *Ascaris lumbricoides*, *Ancylostoma duodenale*, *Enterobius vermicularis*, *Necator americanus*, *Wuchereria bancrofti*, dan *Trichinella spiralis*.

7. *Artropoda* merupakan kelompok hewan yang memiliki tubuh beruas-ruas. Klasifikasinya terdiri dari *Keliseriforma*, *Miriapoda*, *Heksapoda*, dan *Krustasea*.
8. *Echinodermata* merupakan hewan laut yang berkulit berduri. *Echinodermata* diklasifikasikan menjadi *Asteroidea*, *Ophiuroidea*, *Echinoidea*, *Crinoidea*, *Holothuroidea*, dan *Concentricycloidea*.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfarita, N., & Chukeyatirtei, Ei. (2015). Characterization of protease-producing bacteria isolate from teirasi. *Journal of Bioillogical Research*, 21 (1) pp.18-22.
- Alinaghi, M., Suroiweic, I., Schoilzei, S., McCreiady, C., Zeihe, C., Joihanssoin, Ei., Trygg, J., & Cloiareic, Oi. (2022). Hierarchical time-series analysis of dynamic bioprocess systems. *Bioinformatics Journal*, 17(12). doi.org/10.1002/bioit. 202200237
- Amalia, U., Sudarmintoi., & Agustini, T.W. (2018). Characterization of lactic acid bacteria (LAB) isolate from Indonesian shrimp paste (teirasi). 3rd International Conference on Tropical and Coastal Region Eco-Development 2017. IOIP Publishing IOIP Conf. *Series: Earth and Environmental Science* 116 012049. Doi :10.1088/1755-1315/116/1/012049.
- Amang dan Husein. 1999. *Kebijakan Beiras dan Pangan Nasional: Pelajaran dari Oirde Baru dan Eira Reformasi*. Boigoir: IPB Preiss.
- Ambarwati & Susianawati. 2006. Keimajuan IPTEiK untuk Keimashatan Umat. *SUHUF*. Vol.18 No 2, 156-165.
- Balai Koinseirvasi Sumber Daya Alam Sumatra Utara II. 2002. *Buku Informasi Kawasan Koinseirvasi di Sumateira Utara*. BKSDA SU II, Medan.
- Briani, AMGT.S., Darmantoi, Y.S., & Rianingsih, L. (2014). Pengaruh koinseirvasi enzim papain dan lama fermentasi terhadap kualitas kecap ikan rucah. *Jurnal Peingolahan dan Bioiteiknoilogi Hasil Peirikanan*, Volume 3 No 3 2014. pp 121- 128. www.eijournal-s1.undip.ac.id/index.php/jpbhp
- Callicoitt, J. B., Croiweir, L. B., & Mumfoird, K. (1999). Current Normative Concepts in Conservation. *In*

Coinseirvatioin Bioiloigy (Voil. 13, Issuei 1).

- Díaz, S., Zafra-Calvoi, N., Purvis, A., Veirburg, P. H., Oibura, D., Leiadleiy, P., Chaplin-Krameir, R., Dei Meieisteir, L., Dulloioi, Ei., Martín-Lópeiz, B., Shaw, M. R., Viscontin, P., Broiadgatei, W., Brufoird, M. W., Burgeiss, N. D., Caveindeir-Bareis, J., DeiCleirck, F., Feirnándeiz-Palaciois,
- J. M., Garibaldi, L. A., ... Zannei, A. Ei. (2020). Seit ambitioius goials foir bioidiveirsity and sustainability. *Scieincei*, 370(6515), 411–413. doi:10.1126/scieincei.abe1530.
- Fahmideih, L. Khoidadadoi, Ei & Khoidadadi, R. 2014. A Reivieiw oif Applicatioins oif Bioiteichnoiloigy in teih Einviroinmeint. *Inteirnationai Joiurnal oif Farming and Allieid Scieincei*, Voil. 3
- Campbell, N. A, J. B, Reece, and L. G, Mitchell. 2002. *Biologi Edisi Kelima*. Jakarta: Erlangga.
- Gunawan, Totok dkk. 2004. *Fakta dan Konsep Geografi*. Jakarta: Ganeca Exact.
- Kimball. W. John. 2009. *Biologi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama. Stansfield, William, 2006. *Biologi Molekuler dan Sel*. Jakarta: Erlangga. Waluyo, L. 2005. *Evolusi Organik*. UMM Press. Malang.
- Eneng Rahmi Dharmawaty M Taher Tika Putri Agustina Angreni Beaktris Liunokas Devin Mahendika. 2023. *Biologi Umum*. PT MAFY MEDIA LITERASI INDONESIA. Kota Solok, Sumatera Barat
- Masni Veronika Situmorang, 2020, *Biologi dasar*, Penerbit Widina Bhakti Persada Bandung

BIOGRAFI PENULIS



Lalu Amrullah. S.Pd.,M.Si. Ia Alumnus S1 dari IAIN Mataram pada Fakultas Tarbiyah, jurusan Pendidikan Biologi dan S2 dari Fakultas Biologi Universitas Jendral Soederman Purwokerto melalui beasiswa Unggulan Tahun 2012, dan sekarang mengabdikan sebagai Dosen

Di Jurusan Teknologi Pangan Kampus Institut Teknologi dan Kesehatan Aspirasi (ITKA) Lombok Timur. Ini adalah karya pertamanya, semoga bermanfaat.