

BIOLOGI DASAR-DASAR KEHIDUPAN

**Randi Syafutra
Annysa Ellycornia Silvyana
Andi Faridah Aرسال
Aidil Adhani
Iriani Setyawati
Ningsi Saibi
WD. Syarni Tala
Daawia
Silfia Ilma
Wayan Budiarsa Suyasa**



GET PRESS INDONESIA

BIOLOGI DASAR-DASAR KEHIDUPAN

Penulis : Randi Syafutra
Annysa Ellycornia Silvyana
Andi Faridah Aarsal
Aidil Adhani
Iriani Setyawati
Ningsi Saibi
WD. Syarni Tala
Daawia
Silfia Ilma
Wayan Budiarsa Suyasa

ISBN :

Editor : Dr. Oktavianis, M.Biomed.

Penyunting: Mila Sari, M.Si.

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd.

Penerbit: GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi:

Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tengah, Padang, Sumatera Barat
website: www.getpress.co.id
email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Agustus 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat-Nya, sehingga buku "Biologi: Dasar-Dasar Kehidupan" ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik. Buku ini dirancang untuk memberikan pemahaman mendalam tentang berbagai konsep dasar dalam biologi, mulai dari asal-usul kehidupan hingga kompleksitas ekosistem yang ada di sekitar kita. Melalui bab-bab yang disusun secara sistematis, pembaca akan diajak untuk memahami teori-teori penting seperti Abiogenesis, Biogenesis, hingga evolusi dan genetika, yang merupakan dasar dari pengetahuan biologi modern.

Buku ini juga mencakup topik-topik esensial seperti struktur dan fungsi sel, jaringan, organ, serta sistem organ pada tumbuhan dan hewan, yang semuanya dijelaskan dengan rinci untuk membekali pembaca dengan dasar-dasar pengetahuan biologi yang solid. Selain itu, pembahasan mengenai keanekaragaman hayati, ekologi, dan upaya restorasi ekosistem diharapkan dapat memberikan wawasan lebih luas tentang pentingnya menjaga kelestarian lingkungan. Kami berharap buku ini bermanfaat bagi mahasiswa, akademisi, dan semua pihak yang ingin memperdalam ilmu biologi.

Padang, Juli 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	viii
BAB 1 ASAL USUL MAKHLUK HIDUP	1
1.1 Teori Abiogenesis	1
1.2 Teori Biogenesis.....	4
1.3 Evolusi Kimia: Dari Senyawa Sederhana ke Kehidupan Awal.....	7
1.4 Hipotesis Panspermia	9
1.5 Teori Evolusi dan Asal Usul Spesies	12
1.6 Keterkaitan Genetika dengan Asal-Usul Kehidupan	16
DAFTAR PUSTAKA	20
BAB 2 BIOLOGI SEL	23
2.1 Pengantar Perkembangan Biologi Sel.....	23
2.2 Struktur dan Fungsi Komponen Sel.....	25
2.3 Jenis Sel Berdasar Struktur Ultra Sel.....	27
2.4 Perbedaan Sel Hewan dan Sel Tumbuhan	35
2.4 Bentuk, Ukuran dan Metabolisme Sel.....	35
DAFTAR PUSTAKA	38
BAB 3 GENETIKA	39
3.1 Pendahuluan.....	39
3.2 Kromosom	41
3.3 Mekanisme Pewarisan sifat.....	46
3.4 Pola-pola Pewarisan sifat	49
DAFTAR PUSTAKA	58

BAB 4 STRUKTUR DAN FUNGSI SEL, JARINGAN, ORGAN, SISTEM ORGAN PADA TUMBUHAN.....	61
4.1 Pendahuluan	61
4.2 Struktur dan Fungsi Sel	62
4.3 Struktur dan Fungsi Jaringan	65
4.4 Organ Tumbuhan	71
4.5 Sistem Organ Tumbuhan.....	76
DAFTAR PUSTAKA	78
BAB 5 STRUKTUR DAN FUNGSI SEL, JARINGAN, ORGAN, SISTEM ORGAN PADA HEWAN	81
5.1 Pendahuluan	81
5.2 Jaringan Dasar Hewan.....	81
5.3 Organ dan Sistem Organ pada Hewan	88
BAB 6 BIODIVERSITAS	113
6.1 Pengertian Biodiversitas.....	113
6.2 Tingkat Keanekaragaman Hayati.....	115
6.3 Manfaat Keanekaragaman Hayati.....	122
DAFTAR PUSTAKA	127
BAB 7 PENGELOMPOKAN MAKHLUK HIDUP	129
7.1 Pendahuluan	129
7.2 Pengelompokan Makhluk Hidup.....	131
DAFTAR PUSTAKA	161
BAB 8 DASAR-DASAR EKOLOGI.....	163
8.1 Populasi	163
8.2 Komunitas.....	165
8.3 Ekosistem.....	167
8.4 Biotik vs. Abiotik	168
8.5 Keanekaragaman Hayati	170

8.6 Interaksi Antar-Spesies	172
8.7 Siklus Biogeokimia	174
8.8 Kapasitas Toleransi.....	177
8.9 Suksesi Ekologis	179
8.10 Piramida Ekologi	181
DAFTAR PUSTAKA	184
BAB 9 EKOLOGI VEGETASI	185
9.1 Pendahuluan.....	185
9.2 Kecenderungan dalam Ekologi Vegetasi saat ini.....	186
9.3 Analisis Vegetasi	187
9.4 Teknik Pencuplikan	189
9.5 Parameter dalam Analisis Vegetasi	193
9.6 Aplikasi Analisis Vegetasi dalam Kehidupan	197
DAFTAR PUSTAKA	199
BAB 10 EKOLOGI RESTORASI.....	203
10.1 Definisi dan Konsep Dasar Ekologi Restorasi	203
10.2 Pendekatan dan Restorasi Ekosistem di Indonesia.....	204
10.3 Konservasi keanekaragaman hayati.....	207
10.4 Jasa Ekosistem: Pentingnya dan Peranannya dalam Kelestarian Lingkungan	211
10.5 Pemberdayaan Masyarakat dalam Ekologi Restorasi	215
10.6 Mitigasi Perubahan Iklim dalam Ekologi Restorasi.....	221
DAFTAR PUSTAKA	228
BIODATA PENULIS	231

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Eksperimen Miller-Urey	3
Gambar 1. 2. Eksperimen Francesco Redi dan Louis Pasteur	6
Gambar 1. 3. Pohon kehidupan/ <i>tree of life</i>	14
Gambar 1. 4. Proses <i>whole genome sequencing</i>	18
Gambar 2. 1. Zacharias Janssen	23
Gambar 2. 2. Galileo Galilei	24
Gambar 2. 3. Robert Hooke.....	24
Gambar 2. 4. Antonie Van Leeuwenhoek.....	25
Gambar 2. 5. Sel Prokariotik.....	30
Gambar 2. 6. Organel Sel	31
Gambar 2. 7. Perbedaan Sel Tumbuhan (Kiri) dan Sel Hewan (Kanan)	35
Gambar 3. 1. Ilustrasi double Helix DNA	40
Gambar 3. 2. Struktur kromosom (pengemasan polynukleotida DNA dengan protein yaitu histon membentuk nukleosom hingga memadat membentuk solenoid. Solenoid-solenoid memadat membentuk kromatin hingga terkemas ke dalam bentuk kromosom)	42
Gambar 3. 3. Kromosom dalam kondisi siap membelah dan bagian-bagiannya. Penampilan kromosom melalui mikroskop elektron.....	43
Gambar 3. 4. Karyotip Kromosom Manusia.....	45
Gambar 3. 5. Gametogenesis pada spermatogenesis dan oogenesis	47
Gambar 3. 6. Contoh Diagram Perkawinan untuk Sifat Bentuk Telinga.....	48
Gambar 3. 7. Contoh Diagram Perkawinan untuk Sifat Bentuk Telinga.....	49
Gambar 3. 8. Bentuk Telinga. A bertelinga menggantung. B Bertelinga melekat.	49
Gambar 3. 9. Silsilah Keluarga Tobalo	51
Gambar 3. 10. Anggota keluarga dengan ciri Tobalo	51

Gambar 3. 11. Silsilah keluarga Cadel (Pola Resesif Autosomal)	52
Gambar 3. 12. Grafik Spektrum fenotip jatiluhur daya hasil 2,5 ton/hektar.....	57
Gambar 4. 1. Struktur Anatomi Sel Tumbuhan.....	62
Gambar 4. 2. Jaringan meristem berdasarkan letaknya.....	67
Gambar 4. 3. Struktur Anatomi Akar (dikotil)	72
Gambar 4. 4. Struktur Anatomi Batang (dikotil)	74
Gambar 4. 5. Struktur Anatomi Daun	76
Gambar 5. 1. Struktur jaringan epitel.....	82
Gambar 5. 2. Jenis-jenis jaringan ikat.....	84
Gambar 5. 3. Struktur jaringan saraf (neuron)	87
Gambar 5. 4. Struktur anatomi kulit mamalia (manusia).....	88
Gambar 5. 5. Jenis-jenis jaringan otot.....	90
Gambar 5. 6. Sistem rangka primata.....	92
Gambar 5. 7. Struktur anatomi jantung mamalia.....	93
Gambar 5. 8. Sistem sirkulasi darah hewan vertebrata.....	94
Gambar 5. 9. Sistem pencernaan hewan	96
Gambar 5. 10. Struktur histologi dinding lambung.....	97
Gambar 5. 11. Struktur sistem pencernaan mamalia (manusia).....	99
Gambar 5. 12. Struktur ginjal dan nefron mamalia (manusia).....	100
Gambar 5. 13. Struktur organ reproduksi betina	102
Gambar 5. 14. Koordinasi sistem saraf	104
Gambar 5. 15. Sistem limfatik mamalia (mamalia)	109
Gambar 6. 1. Keanekaragaman Hayati	113
Gambar 6. 2. Keanekaragaman Tingkat Gen pada Buah Mangga (<i>Mangifera indica</i> L.)	115
Gambar 6. 3. Keanekaragaman Tingkat Spesies.....	119
Gambar 6. 4. Keanekaragaman Tingkat Ekosistem.....	121
Gambar 7. 1 Struktur sel bakteri	134
Gambar 7. 2. Struktur sel <i>Euglena gracilis</i>	142
Gambar 7. 3. Struktur sel tumbuhan.....	146
Gambar 7. 4. Perkecambahan spora membentuk miselium	150
Gambar 7. 5. Tipe-tipe hifa jamur	151
Gambar 7. 6. Struktur sel hewan	153

Gambar 7. 7. Simetri tubuh hewan.....	154
Gambar 7. 8. Rancangan tubuh diploblastik	155
Gambar 7. 9. Rancangan tubuh triploblastik:	156
Gambar 7. 10. Kompleksitas jaringan pada hewan vertebrata.....	157
Gambar 7. 11. Perkembangan bintang laut	159
Gambar 7. 12. Siklus hidup <i>Obelia</i>	160
Gambar 9. 1. Vegetasi tumbuhan <i>Nepenthes</i> sp.	186
Gambar 9. 2. Bentuk petak-contoh tunggal untuk kurva minimal	190
Gambar 9. 3. Metode jalur dengan petak contoh.....	191
Gambar 9. 4. Metode Garis tanpa Petak Contoh	192
Gambar 9. 5. Metode Garis Berpetak.....	192

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Interval kelas Jatiluhur	56
Tabel 7. 1. Perbedaan karakteristik antara Bakteri, Archaea, dan Eukariota.....	137

BAB 1

ASAL USUL MAKHLUK HIDUP

Oleh Randi Syafutra

1.1 Teori Abiogenesis

1.1.1 Konsep Dasar Abiogenesis

Konsep dasar abiogenesis merujuk pada gagasan bahwa kehidupan dapat muncul dari bahan-bahan non-hidup secara alami. Ini berarti bahwa pada suatu waktu di masa lampau, di lingkungan Bumi awal yang kaya akan unsur-unsur kimia, molekul-molekul yang penting untuk kehidupan dapat terbentuk secara spontan (Miller and Urey, 1959; Oró, 1961). Salah satu aspek kunci dari konsep ini adalah bahwa proses-proses alami, seperti reaksi kimia di dalam atmosfer atau lautan primitif, dapat menghasilkan molekul organik kompleks yang akhirnya berkembang menjadi entitas hidup (Patel *et al.*, 2015; Wächtershäuser, 1988).

Abiogenesis mengandaikan bahwa kondisi di Bumi primitif memberikan lingkungan yang cocok bagi molekul-molekul untuk mengalami transformasi menjadi bentuk kehidupan. Hal ini sering dikaitkan dengan atmosfer yang kaya akan gas-gas seperti hidrogen, metana, amonia, dan air, serta energi dari petir, radiasi ultraviolet, atau panas geotermal yang dapat memicu reaksi kimia kompleks (Cockell, 2014).

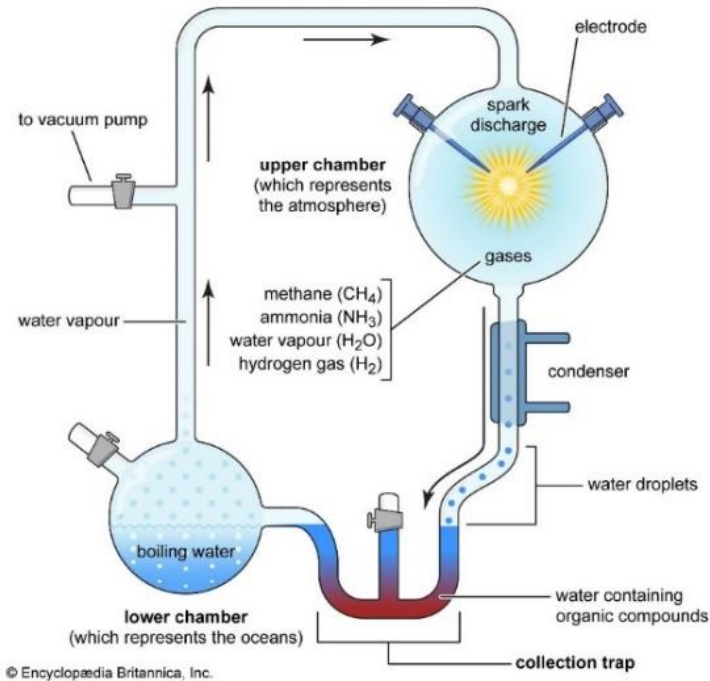
Teori ini telah menjadi subjek perdebatan selama beberapa abad, terutama sebelum munculnya teori biogenesis yang lebih diterima secara luas (Sutherland, 2016). Namun, konsep dasar abiogenesis tetap penting dalam memahami

evolusi kehidupan dan menjelaskan asal usul makhluk hidup yang kompleks dari bahan-bahan kimia sederhana (Lazcano, 2014; Powner *et al.*, 2009).

Pentingnya konsep dasar abiogenesis tidak hanya terletak pada pencarian asal usul kehidupan di Bumi, tetapi juga dalam pemahaman tentang kemungkinan kehidupan di planet lain atau lingkungan ekstrem di luar angkasa. Dengan memahami kondisi dan proses yang mungkin telah memfasilitasi munculnya kehidupan di Bumi, ilmuwan dapat memperluas penelitian mereka untuk mencari tanda-tanda kehidupan di tempat-tempat lain dalam tata surya kita maupun di luarnya (Melosh, 2003; Wallis and Wickramasinghe, 2004).

1.1.2 Eksperimen Klasik dalam Mendukung Abiogenesis

Eksperimen klasik dalam mendukung abiogenesis telah memainkan peran penting dalam mengembangkan pemahaman kita tentang bagaimana kehidupan mungkin muncul dari bahan-bahan non-hidup. Salah satu eksperimen paling terkenal yang mendukung konsep abiogenesis adalah eksperimen yang dilakukan oleh Stanley Miller dan Harold Urey pada tahun 1953 (Gambar 1.1). Dalam eksperimen ini, mereka menciptakan kondisi yang mensimulasikan atmosfer Bumi awal di dalam laboratorium, termasuk gas-gas seperti hidrogen, metana, amonia, dan air, serta sumber energi yang memungkinkan reaksi kimia terjadi, seperti percikan listrik yang meniru petir (Miller and Urey, 1959).

Miller-Urey experiment

Gambar 1. 1. Eksperimen Miller-Urey
(Sumber foto: Encyclopædia Britannica, Inc.)

Hasil dari eksperimen Miller-Urey menunjukkan bahwa dengan kondisi-kondisi tertentu, molekul-molekul sederhana seperti asam amino, komponen utama protein, dapat terbentuk secara spontan dari bahan-bahan kimia yang tidak hidup. Penemuan ini memberikan dukungan kuat untuk gagasan bahwa bahan-bahan kimia sederhana yang ada di Bumi awal dapat bereaksi secara alami dan menghasilkan molekul-molekul yang esensial untuk kehidupan.

Selain eksperimen Miller-Urey, banyak eksperimen lain yang dilakukan untuk mendukung konsep abiogenesis. Misalnya, eksperimen yang menunjukkan bahwa molekul organik kompleks dapat terbentuk di lingkungan vulkanik bawah laut

atau dalam kondisi hidrotermal laut yang ekstrem. Eksperimen ini menunjukkan bahwa kondisi ekstrem yang mungkin ada di Bumi primitif bisa menjadi tempat bagi reaksi kimia kompleks yang memicu munculnya kehidupan (Wächtershäuser, 1988).

1.2 Teori Biogenesis

1.2.1 Prinsip Utama Teori Biogenesis

Prinsip utama dari teori biogenesis adalah bahwa kehidupan berasal dari kehidupan yang sudah ada sebelumnya. Ini berarti bahwa organisme hidup hanya dapat dihasilkan melalui reproduksi dari organisme yang telah ada sebelumnya, baik melalui pembelahan sel, perkembangbiakan seksual, atau proses reproduksi lainnya. Prinsip ini menyiratkan bahwa tidak mungkin bagi kehidupan untuk muncul secara spontan dari bahan-bahan non-hidup, seperti yang diajukan dalam teori abiogenesis (Gould, 2002).

Teori biogenesis sering kali dikaitkan dengan eksperimen yang dilakukan oleh ilmuwan Prancis, Louis Pasteur, pada abad ke-19. Dalam serangkaian eksperimen yang terkenal, Pasteur berhasil membantah teori *generatio spontanea* yang mendukung gagasan bahwa kehidupan dapat muncul secara spontan dari materi non-hidup. Dalam salah satu eksperimennya, Pasteur menggunakan labu leher leheran yang berbentuk S, yang memungkinkan udara masuk ke dalam labu, tetapi mencegah partikel-partikel yang ada di udara masuk ke dalam cairan yang ada di dalamnya. Dengan cara ini, ia menunjukkan bahwa mikroorganisme tidak dapat berkembang biak di dalam cairan yang telah steril, menegaskan prinsip utama teori biogenesis bahwa kehidupan hanya berasal dari kehidupan sebelumnya (Avisé, 1994).

Prinsip biogenesis juga mendukung pengamatan bahwa semua organisme hidup mengandung materi genetik, seperti DNA atau RNA, yang bertanggung jawab atas warisan genetik dan pewarisan sifat-sifat biologis. Materi genetik ini disalin dan diwariskan dari generasi ke generasi melalui mekanisme reproduksi, yang memperkuat konsep bahwa kehidupan hanya berasal dari kehidupan (Watson and Crick, 1953).

Dalam konteks evolusi dan pemahaman asal usul kehidupan, prinsip utama teori biogenesis memberikan landasan untuk memahami bagaimana kehidupan telah berkembang dan berevolusi dari waktu ke waktu. Meskipun teori biogenesis meniadakan kemungkinan *generatio spontanea*, ini tidak mengurangi kompleksitas atau keajaiban proses evolusi, yang terus menjadi fokus penelitian dan eksplorasi dalam bidang biologi modern (Lenski, 2017).

1.2.2 Eksperimen Penting yang Mendukung Teori Biogenesis

Seiring dengan prinsip utama teori biogenesis, banyak eksperimen kunci telah dilakukan untuk mendukung gagasan bahwa kehidupan hanya berasal dari kehidupan yang sudah ada sebelumnya. Salah satu eksperimen paling terkenal adalah eksperimen yang dilakukan oleh ilmuwan Italia, Francesco Redi, pada abad ke-17. Redi mengadakan serangkaian eksperimen di mana ia menunjukkan bahwa lalat tidak muncul secara spontan dari daging yang membusuk, seperti yang diyakini pada masa itu. Dengan menggunakan kandang yang dilapisi dengan kain kasa, Redi berhasil mengisolasi daging dari lalat, yang menyebabkan tidak adanya lalat yang muncul. Eksperimen ini memberikan bukti awal yang kuat bahwa organisme hidup hanya muncul dari organisme yang sudah ada sebelumnya, mendukung teori biogenesis (Gould, 2002).

Selain eksperimen Redi, kontribusi penting juga datang dari eksperimen yang dilakukan oleh Louis Pasteur (Gambar 1.2), seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Pasteur memainkan peran kunci dalam membenarkan teori biogenesis melalui serangkaian eksperimen yang menunjukkan bahwa mikroorganisme tidak muncul secara spontan dalam media yang telah disterilkan. Dalam salah satu eksperimennya yang terkenal, Pasteur memanaskan cairan nutrisi hingga mendidih untuk membunuh semua mikroorganisme yang ada di dalamnya, lalu menutupnya dengan leher labu yang dibengkokkan untuk mencegah masuknya mikroorganisme dari udara. Dengan demikian, Pasteur menunjukkan bahwa tidak ada mikroorganisme yang tumbuh dalam cairan tersebut, kecuali ketika labu tersebut dibuka dan mikroorganisme dari udara dapat masuk (Hoyle and Wickramasinghe, 1999).

Experiments disproving spontaneous generation

Francesco Redi 1668 experiment

wide-mouthed jars containing a piece of meat:

open jar



flies entered and laid eggs that hatched maggots

gauze-covered jar



no flies entered, but they laid eggs on the gauze that hatched maggots, or eggs fell through the gauze and hatched on the meat

sealed jar



no flies, maggots, or eggs could enter

Louis Pasteur 1859 experiment

broth was boiled in various flasks for one hour to sterilize it and allowed to cool, drawing in fresh air.



broth
open flask allowed air and any bacteria present in the air to enter



contaminated with bacteria



broth
cotton plug filtered bacteria from the air entering the flask



sterile



broth
bacteria were removed from the air entering the flask by settling in the long neck



sterile

© Encyclopædia Britannica, Inc.

**Gambar 1. 2. Eksperimen Francesco Redi dan Louis Pasteur
(Sumber foto: Encyclopædia Britannica, Inc.)**

Selain itu, eksperimen-eksperimen modern dalam biologi molekuler dan genetika juga terus mendukung teori biogenesis. Penemuan struktur DNA oleh James Watson dan Francis Crick pada tahun 1953 memberikan landasan molekuler untuk pemahaman tentang pewarisan sifat-sifat biologis dari generasi ke generasi. Pemahaman tentang struktur dan fungsi DNA telah memperkuat keyakinan bahwa kehidupan hanya dapat muncul melalui reproduksi dari organisme yang sudah ada sebelumnya, dan bahwa materi genetik adalah kunci utama dalam proses ini (Watson and Crick, 1953).

1.3 Evolusi Kimia: Dari Senyawa Sederhana ke Kehidupan Awal

1.3.1 Pembentukan Senyawa Organik di Bumi Awal

Pembentukan senyawa organik di Bumi awal merupakan tahap awal dalam proses evolusi kimia yang kemudian membawa pada munculnya kehidupan. Pada periode awal sejarah Bumi, atmosfernya berbeda dari yang kita kenal sekarang. Atmosfer tersebut diyakini terdiri dari gas-gas seperti hidrogen, metana, amonia, dan air, serta kurangnya oksigen. Kondisi ini menciptakan lingkungan yang mendukung reaksi kimia yang kompleks, termasuk pembentukan senyawa organik (Miller and Urey, 1959).

Salah satu mekanisme utama dalam pembentukan senyawa organik di Bumi awal adalah melalui reaksi kimia yang dipicu oleh energi eksternal, seperti petir, radiasi ultraviolet dari matahari, atau panas dari aktivitas geotermal. Energi ini memungkinkan molekul-molekul yang sederhana, seperti karbon dioksida, metana, dan amonia, bereaksi satu sama lain untuk membentuk molekul yang lebih kompleks, seperti asam amino, nukleotida, dan gula-gula sederhana (Powner *et al.*, 2009).

Pentingnya pembentukan senyawa organik dalam evolusi kimia adalah bahwa molekul-molekul ini merupakan bahan bangunan utama bagi kehidupan. Misalnya, asam amino adalah komponen dasar dari protein, sedangkan nukleotida adalah penyusun DNA dan RNA, yang bertanggung jawab atas pewarisan genetik dan proses-proses biokimia yang penting bagi kehidupan (Sutherland, 2016).

Bukti awal tentang pembentukan senyawa organik di Bumi awal datang dari penelitian seperti eksperimen Stanley Miller dan Harold Urey pada tahun 1953. Dalam eksperimen ini, mereka mensimulasikan kondisi atmosfer Bumi awal dalam laboratorium dan berhasil menghasilkan sejumlah senyawa organik, termasuk beberapa asam amino, dari bahan-bahan kimia sederhana. Penemuan ini memberikan bukti kuat bahwa pembentukan senyawa organik yang kompleks adalah mungkin dalam kondisi yang ada di Bumi awal (Miller and Urey, 1959).

1.3.2 Eksperimen Stanley Miller dan Harold Urey

Salah satu eksperimen paling terkenal dalam mendukung teori evolusi kimia dan asal usul kehidupan adalah eksperimen yang dilakukan oleh Stanley Miller dan Harold Urey pada tahun 1953. Eksperimen ini bertujuan untuk mensimulasikan kondisi atmosfer Bumi awal dalam laboratorium dan memeriksa kemungkinan pembentukan senyawa organik dari bahan-bahan kimia sederhana di lingkungan yang sesuai.

Dalam eksperimen ini, Miller dan Urey menggunakan campuran gas yang mencerminkan komposisi atmosfer Bumi awal, seperti hidrogen, metana, amonia, dan air, yang mereka lewati melalui percikan listrik untuk meniru aktivitas petir. Mereka kemudian mengamati bahwa reaksi kimia yang kompleks terjadi dalam sistem tersebut, menghasilkan berbagai senyawa organik, termasuk beberapa asam amino, yang

merupakan blok bangunan utama dari protein (Miller and Urey, 1959).

Penemuan ini sangat signifikan karena mereka berhasil menunjukkan bahwa senyawa organik yang kompleks, yang menjadi dasar bagi kehidupan, dapat terbentuk secara alami dalam kondisi-kondisi yang mungkin ada di Bumi awal. Hasil eksperimen ini menunjukkan bahwa dengan energi eksternal, seperti percikan listrik, dan atmosfer yang mengandung bahan-bahan kimia yang tepat, pembentukan senyawa organik adalah mungkin (Sutherland, 2016).

Eksperimen Miller-Urey telah menjadi tonggak penting dalam pemahaman kita tentang evolusi kimia dan asal usul kehidupan. Meskipun eksperimen ini telah menjadi subjek perdebatan dan kritik selama bertahun-tahun, terutama terkait dengan kesesuaian model atmosfer yang digunakan, namun hasilnya telah mengilhami generasi ilmuwan untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang asal usul kehidupan (Powner *et al.*, 2009).

Selain memberikan wawasan tentang kemungkinan proses-proses yang terjadi di Bumi awal, eksperimen Miller dan Urey juga telah memicu eksperimen dan penelitian yang lebih lanjut dalam bidang astrobiologi, yaitu studi tentang kemungkinan kehidupan di luar Bumi. Temuan mereka memberikan dorongan baru dalam pencarian tanda-tanda kehidupan di planet-planet lain dalam tata surya kita dan di galaksi lainnya (Tait *et al.*, 2017).

1.4 Hipotesis Panspermia

1.4.1 Konsep Dasar Hipotesis Panspermia

Hipotesis Panspermia adalah gagasan bahwa kehidupan, atau bahan-bahan yang diperlukan untuk kehidupan, tersebar di seluruh alam semesta dan mungkin telah datang ke Bumi dari

luar angkasa (Hoyle and Wickramasinghe, 1999). Konsep ini menantang pandangan tradisional tentang asal usul kehidupan yang berfokus pada proses yang terjadi di dalam Bumi, dan mengusulkan bahwa kehidupan mungkin telah "bertaburan" dari planet lain, komet, atau meteorit (Melosh, 2003).

Salah satu konsep dasar dalam hipotesis panspermia adalah bahwa kehidupan mungkin lebih mudah terbentuk di lingkungan ekstraterestrial daripada di Bumi awal (Cockell, 2014). Lingkungan di luar angkasa, seperti planet lain atau bulan, dapat memiliki kondisi yang lebih menguntungkan untuk pembentukan kehidupan, seperti sumber energi yang lebih melimpah atau kurangnya gangguan eksternal yang dapat menghambat proses-proses biokimia (Patel *et al.*, 2015).

Hipotesis panspermia mengajukan beberapa mekanisme yang mungkin telah mengantar kehidupan atau bahan-bahan yang diperlukan untuk kehidupan ke Bumi. Salah satunya adalah pengiriman bahan-bahan tersebut melalui asteroid atau komet yang mengalami tabrakan dengan Bumi (Wallis and Wickramasinghe, 2004). Ketika asteroid atau komet tersebut bertabrakan dengan Bumi, material organik atau bahkan mikroorganisme yang terperangkap di dalamnya dapat dilepaskan dan memasuki atmosfer Bumi (Tait *et al.*, 2017).

Selain itu, hipotesis panspermia juga mengusulkan bahwa kehidupan atau bahan-bahan yang diperlukan untuk kehidupan dapat disebarkan melalui aliran debu antarbintang atau melalui sisa-sisa supernova, yang menghasilkan energi yang cukup untuk membentuk senyawa kompleks (Wächtershäuser, 1988). Teori ini menyarankan bahwa kehidupan mungkin tidak terbatas hanya pada Bumi, tetapi dapat ada di berbagai tempat di alam semesta (Sutherland, 2016).

1.4.2 Bukti dan Dukungan untuk Hipotesis Panspermia

Hipotesis Panspermia, yang mengusulkan bahwa kehidupan atau bahan-bahan yang diperlukan untuk kehidupan tersebar di seluruh alam semesta dan mungkin telah datang ke Bumi dari luar angkasa, telah mendapat dukungan dan minat dari berbagai penelitian dan temuan ilmiah (Callahan *et al.*, 2011).

Salah satu bukti yang mendukung hipotesis panspermia adalah penemuan senyawa organik kompleks di luar angkasa (Miller and Urey, 1959). Studi atas meteorit dan komet telah menemukan beragam molekul organik, termasuk asam amino, gula-gula, dan basa nitrogen, yang merupakan bahan-bahan penting bagi kehidupan seperti yang kita kenal (Oró, 1961). Kehadiran senyawa organik ini di luar angkasa menunjukkan bahwa bahan-bahan yang diperlukan untuk kehidupan dapat ditemukan di berbagai lokasi di alam semesta, memberikan dukungan bagi ide bahwa kehidupan dapat datang dari luar Bumi (Powner *et al.*, 2009).

Selain itu, penemuan mikroorganisme yang tahan terhadap kondisi ekstrem di Bumi telah memberikan dorongan bagi hipotesis panspermia (Thomas, 2001). Beberapa mikroorganisme, seperti bakteri yang hidup di lingkungan yang sangat asam atau sangat panas, telah ditemukan mampu bertahan dalam kondisi yang ekstrem di Bumi yang sebagian besar tidak ramah bagi kehidupan (Lenski, 2017). Ini menunjukkan bahwa mikroorganisme dapat memiliki ketahanan yang cukup untuk bertahan hidup di lingkungan luar angkasa atau dalam perjalanan antarplanet, memberikan kemungkinan bahwa kehidupan dapat menyebar dari satu planet ke planet lain (Liberles *et al.*, 2020).

Selain bukti langsung, dukungan bagi hipotesis panspermia juga datang dari penemuan planet-planet di luar tata surya kita yang mungkin memiliki kondisi yang cocok untuk kehidupan

(Kadereit, 2014). Dengan penemuan ribuan eksoplanet, beberapa di antaranya berada dalam "zona layak huni" di sekitar bintang induknya, di mana suhu di permukaannya memungkinkan keberadaan air cair (Avisé, 1994). Fakta bahwa planet-planet ini dapat memiliki kondisi yang mirip dengan Bumi menimbulkan pertanyaan apakah kehidupan juga bisa ada di sana, atau mungkin telah dibawa ke sana melalui mekanisme panspermia (Gould, 2002).

1.5 Teori Evolusi dan Asal Usul Spesies

1.5.1 Implikasi Hipotesis Panspermia dalam Pencarian Kehidupan di Luar Bumi

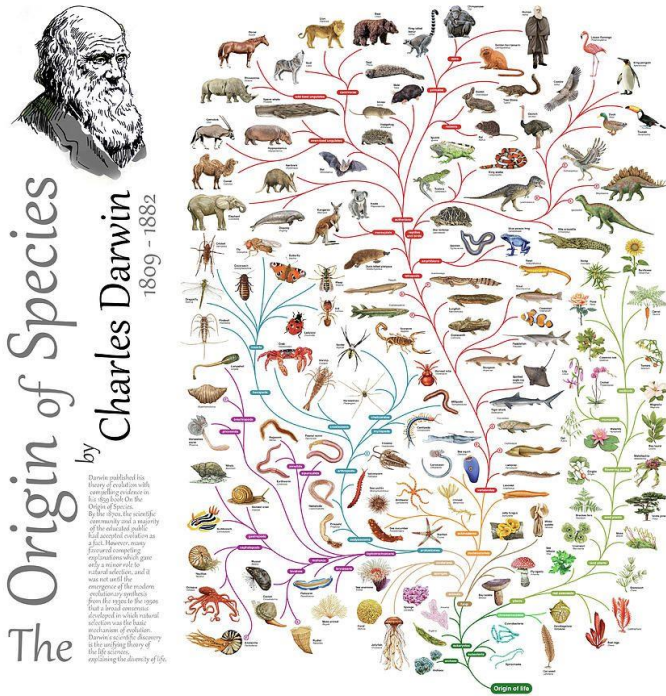
Teori evolusi Darwinian, yang diperkenalkan oleh Charles Darwin pada abad ke-19, merupakan landasan utama dalam pemahaman kita tentang bagaimana kehidupan telah berkembang dan berevolusi dari bentuk yang lebih sederhana menjadi bentuk yang lebih kompleks (Watson and Crick, 1953). Konsep dasar dari teori evolusi Darwinian mencakup beberapa prinsip yang mendasar, yang telah mengubah paradigma dalam biologi dan mempengaruhi berbagai disiplin ilmu lainnya (Brakefield, 2011).

Salah satu prinsip utama dari teori evolusi Darwinian adalah bahwa kehidupan telah mengalami perubahan sepanjang waktu melalui proses seleksi alam (Hoyle and Wickramasinghe, 1999). Menurut Darwin, organisme yang memiliki karakteristik yang lebih sesuai dengan lingkungan mereka lebih mungkin untuk bertahan hidup dan berkembang biak, sementara organisme yang kurang sesuai mungkin akan punah (Matute and Cooper, 2021). Proses ini disebut seleksi alamiah, di mana individu-individu yang paling cocok akan mewariskan sifat-sifatnya kepada keturunannya (Sutherland, 2016).

Prinsip kedua dari teori evolusi Darwinian adalah bahwa semua bentuk kehidupan berasal dari nenek moyang yang sama melalui proses evolusi (Kadereit, 2014). Ini dikenal sebagai konsep kesatuan kehidupan atau garis keturunan umum, yang menyiratkan bahwa semua makhluk hidup memiliki leluhur bersama dan telah berkembang melalui perubahan genetik dan seleksi alamiah selama jutaan tahun (Liberles *et al.*, 2020).

Salah satu kontribusi utama Darwin bagi pemahaman evolusi adalah konsep seleksi alamiah (Gould, 2002). Darwin menunjukkan bahwa perubahan genetik yang terjadi secara acak dalam populasi dapat mengarah pada perbedaan dalam karakteristik individu (Lenski, 2017). Jika karakteristik tersebut memberikan keuntungan dalam bertahan hidup atau berkembang biak, maka karakteristik tersebut lebih mungkin untuk diturunkan kepada generasi berikutnya melalui seleksi alamiah (Powner *et al.*, 2009).

Dalam pemikiran Darwin, evolusi adalah proses yang berlangsung secara lambat dan bertahap, di mana perubahan kecil dalam suatu populasi akumulatif dari generasi ke generasi (Thomas, 2001). Dia menggambarkan proses ini sebagai "pohon kehidupan/*tree of life*" (Gambar 1.3) di mana cabang-cabang yang berbeda mewakili spesies-spesies yang berkembang dari leluhur yang sama (Watson and Crick, 1953).



**Gambar 1. 3. Pohon kehidupan/*tree of life*
(Sumber foto: Vijyu R.)**

Teori evolusi Darwinian telah memberikan dasar untuk memahami berbagai fenomena biologis, seperti adaptasi organisme terhadap lingkungannya, keragaman kehidupan di Bumi, dan hubungan antara spesies-spesies yang berbeda (Lenski, 2017). Ini juga telah memengaruhi berbagai disiplin ilmu lainnya, termasuk antropologi, psikologi, dan kedokteran (Gould, 2002).

1.5.2 Bukti-bukti yang Mendukung Teori Evolusi

Teori evolusi merupakan salah satu teori terbesar dalam sains, dan mendapat dukungan dari berbagai bukti ilmiah dari berbagai bidang. Bukti-bukti yang mendukung teori evolusi

meliputi catatan fosil, perbandingan anatomi, data genetik, dan pengamatan langsung tentang proses evolusi di alam.

Salah satu bukti utama yang mendukung teori evolusi adalah catatan fosil. Fosil-fosil merupakan sisa-sisa organisme yang telah mati dan terkubur di lapisan-lapisan batuan selama jutaan tahun. Penemuan fosil-fosil ini menunjukkan bahwa kehidupan telah mengalami perubahan sepanjang waktu, dengan spesies-spesies yang lebih tua muncul lebih awal dalam catatan fosil daripada spesies-spesies yang lebih baru (Gould, 2002). Contohnya, fosil-fosil dari spesies-spesies mamalia primitif dapat ditemukan di lapisan batuan yang lebih tua daripada fosil-fosil mamalia modern (Brakefield, 2011).

Perbandingan anatomi antara spesies-spesies yang berbeda juga memberikan bukti yang kuat untuk evolusi. Struktur-struktur anatomis yang serupa antara spesies-spesies yang berbeda, namun memiliki fungsi yang berbeda, menunjukkan adanya nenek moyang bersama. Misalnya, tulang ekstremitas vertebrata memiliki pola dasar yang serupa, meskipun telah mengalami modifikasi untuk berbagai fungsi, seperti berjalan, terbang, atau berenang (Alberts *et al.*, 2017).

Data genetik juga memberikan bukti yang kuat untuk evolusi. Analisis DNA dan RNA dari berbagai spesies menunjukkan bahwa ada kesamaan dalam urutan basa antara spesies-spesies yang berbeda. Kesamaan genetik ini dapat dijelaskan oleh konsep evolusi, di mana spesies yang memiliki nenek moyang yang sama akan memiliki kesamaan genetik yang lebih besar daripada spesies yang lebih jauh terkait secara evolusioner (Thomas, 2001).

Pengamatan langsung tentang proses evolusi di alam juga memberikan bukti yang mendukung teori evolusi. Contohnya, penelitian tentang perubahan warna kumbang-peppermint di Inggris selama Revolusi Industri telah menunjukkan bagaimana seleksi alamiah dapat mempengaruhi distribusi fenotipe dalam

populasi (Lenski, 2017). Begitu juga dengan penelitian tentang adaptasi bakteri terhadap antibiotik yang menunjukkan bagaimana evolusi dapat terjadi dalam waktu yang relatif singkat (Liberles *et al.*, 2020).

1.6 Keterkaitan Genetika dengan Asal-Usul Kehidupan

1.6.1 Peran Genetika dalam Memahami Asal-Usul Makhluk Hidup

Genetika memainkan peran kunci dalam memahami asal-usul makhluk hidup dan evolusi. Dengan mempelajari materi genetik, termasuk DNA dan RNA, para ilmuwan telah dapat mengungkap banyak misteri tentang bagaimana kehidupan muncul dan berkembang dari leluhur bersama hingga keragaman yang kita lihat hari ini.

Salah satu cara genetika membantu memahami asal-usul makhluk hidup adalah melalui analisis filogenetik. Dengan membandingkan urutan DNA atau protein antara spesies yang berbeda, ilmuwan dapat membuat pohon filogenetik yang menggambarkan hubungan evolusioner antara spesies-spesies tersebut. Pohon filogenetik ini memungkinkan kita untuk melacak garis keturunan bersama antara spesies-spesies yang berbeda dan memahami sejarah evolusi mereka (Avise, 1994).

Selain itu, studi genetika juga membantu memahami bagaimana perubahan genetik terjadi dalam populasi dari generasi ke generasi. Konsep seperti mutasi, rekombinasi genetik, dan seleksi alamiah memainkan peran penting dalam evolusi, dan genetika memberikan dasar untuk memahami mekanisme-mekanisme ini. Misalnya, melalui pemodelan matematika dan simulasi komputer, ilmuwan dapat memprediksi bagaimana frekuensi alel dalam populasi akan

berubah dari waktu ke waktu sebagai hasil dari tekanan seleksi alamiah (Brakefield, 2011).

Lebih lanjut lagi, penemuan genom organisme yang berbeda telah mengungkap kesamaan dan perbedaan genetik yang ada di antara mereka. Misalnya, genom manusia telah dibandingkan dengan genom kera dan primata lainnya, yang memberikan wawasan tentang evolusi manusia dan hubungan kita dengan spesies lain. Begitu juga dengan penemuan genom bakteri dan arkea, yang memberikan pemahaman tentang evolusi kehidupan mikroba dan peran mereka dalam ekologi dan biogeografi (Patel *et al.*, 2015).

Studi tentang genetika juga telah membantu menjelaskan konsep evolusi molekuler, yang menggambarkan bagaimana perubahan genetik terjadi dalam skala molekuler. Melalui analisis sekuens genom dan perbandingan urutan DNA dan protein, ilmuwan dapat melacak perubahan genetik yang terjadi selama miliaran tahun evolusi, memberikan wawasan tentang sejarah kehidupan di Bumi (Powner *et al.*, 2009).

1.6.2 Studi DNA dan RNA dalam Rekonstruksi Silsilah Evolusi

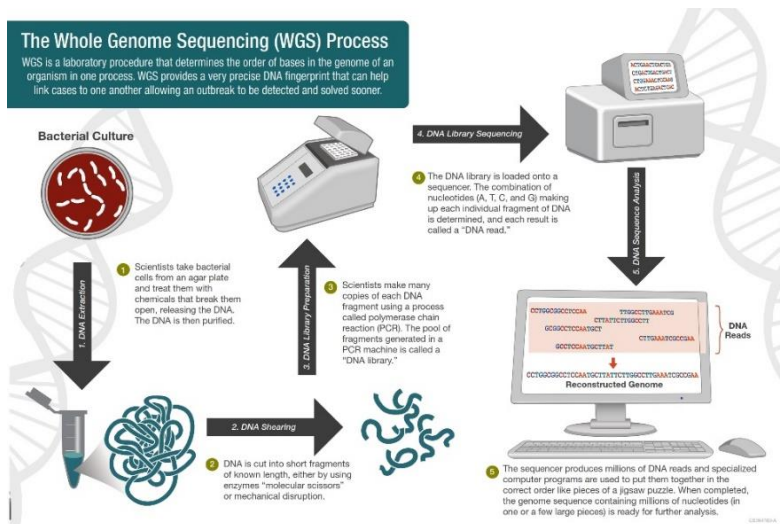
Studi DNA dan RNA telah menjadi alat penting dalam rekonstruksi silsilah evolusi dan memahami asal-usul kehidupan. Analisis sekuens DNA dan RNA dari berbagai organisme telah memberikan wawasan yang berharga tentang hubungan evolusioner antara spesies-spesies, serta mengungkapkan sejarah evolusi dari garis keturunan yang berbeda.

Salah satu teknik yang umum digunakan dalam studi silsilah evolusi adalah analisis filogenetik berbasis DNA dan RNA. Dengan membandingkan sekuens gen tertentu antara berbagai spesies, ilmuwan dapat membangun pohon filogenetik yang menggambarkan hubungan evolusioner antara mereka.

Pendekatan ini memungkinkan kita untuk melacak evolusi organisme dari leluhur bersama dan menentukan sejarah divergensi spesies (Wallis and Wickramasinghe, 2004).

Selain itu, studi DNA dan RNA juga memungkinkan untuk mengidentifikasi gen dan sekuens gen tertentu yang memiliki peran penting dalam evolusi. Dengan memahami perubahan genetik yang terjadi dalam sejarah evolusi, ilmuwan dapat mengidentifikasi gen-gen yang mungkin terlibat dalam adaptasi, spesiasi, dan perubahan morfologi atau perilaku dalam populasi (Watson and Crick, 1953).

Teknik-teknik seperti analisis sekuens genom lengkap (*whole genome sequencing*) (Gambar 1.4) telah memungkinkan untuk membandingkan genom secara menyeluruh antara spesies-spesies yang berbeda. Ini memberikan wawasan yang lebih rinci tentang perubahan genetik yang telah terjadi selama evolusi, serta mengungkapkan gen-gen yang diwariskan dari leluhur bersama (Callahan *et al.*, 2011).



Gambar 1. 4. Proses *whole genome sequencing*

(Sumber foto: U.S. Centers for Disease Control and Prevention)

Selain studi DNA, analisis RNA juga penting dalam memahami evolusi dan perkembangan organisme. RNA memiliki peran kunci dalam ekspresi gen dan regulasi genetik, sehingga studi RNA dapat memberikan wawasan tentang bagaimana perubahan dalam ekspresi gen telah mempengaruhi evolusi organisme. Misalnya, penelitian tentang ekspresi gen selama perkembangan embrio telah memberikan pemahaman tentang bagaimana pola-pola ekspresi gen telah berevolusi di antara spesies untuk menghasilkan keragaman morfologi yang kita lihat (Kadereit, 2014).

DAFTAR PUSTAKA

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K. and Walter, P. (2017), *Molecular Biology of the Cell*, edited by Wilson, J. and Hunt, T., W.W. Norton & Company, doi: 10.1201/9781315735368.
- Avise, J.C. (1994), *Molecular Markers, Natural History and Evolution*, Springer US, Boston, MA, doi: 10.1007/978-1-4615-2381-9.
- Brakefield, P.M. (2011), "Evo-devo and accounting for Darwin's endless forms", *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 366 No. 1574, pp. 2069–2075, doi: 10.1098/rstb.2011.0007.
- Callahan, M.P., Smith, K.E., Cleaves, H.J., Ruzicka, J., Stern, J.C., Glavin, D.P., House, C.H., *et al.* (2011), "Carbonaceous meteorites contain a wide range of extraterrestrial nucleobases", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 108 No. 34, pp. 13995–13998, doi: 10.1073/pnas.1106493108.
- Cockell, C.S. (2014), "Trajectories of martian habitability", *Astrobiology*, Vol. 14 No. 2, pp. 182–203, doi: 10.1089/ast.2013.1106.
- Gould, S.J. (2002), *The Structure of Evolutionary Theory*, Harvard University Press, doi: 10.2307/j.ctvjsf433.
- Hoyle, F. and Wickramasinghe, N.C. (1999), "Comets – a vehicle for panspermia", *Astrophysics and Space Science*, Vol. 268 No. 1/3, pp. 333–341, doi: 10.1023/A:1002428532335.
- Kadereit, J.W. (2014), "Evolution", *Strasburger – Lehrbuch Der Pflanzenwissenschaften*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 505–532, doi: 10.1007/978-3-642-54435-4_22.

- Lazcano, A. (2014), "Origin of Life", *Encyclopedia of Astrobiology*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 1–9, doi: 10.1007/978-3-642-27833-4_1128-2.
- Lenski, R.E. (2017), "Experimental evolution and the dynamics of adaptation and genome evolution in microbial populations", *The ISME Journal*, Vol. 11 No. 10, pp. 2181–2194, doi: 10.1038/ismej.2017.69.
- Liberles, D.A., Chang, B., Geiler-Samerotte, K., Goldman, A., Hey, J., Kaçar, B., Meyer, M., *et al.* (2020), "Emerging frontiers in the study of molecular evolution", *Journal of Molecular Evolution*, Vol. 88 No. 3, pp. 211–226, doi: 10.1007/s00239-020-09932-6.
- Matute, D.R. and Cooper, B.S. (2021), "Comparative studies on speciation: 30 years since Coyne and Orr", *Evolution*, Vol. 75 No. 4, pp. 764–778, doi: 10.1111/evo.14181.
- Melosh, H.J. (2003), "Exchange of meteorites (and life?) between stellar systems", *Astrobiology*, Vol. 3 No. 1, pp. 207–215, doi: 10.1089/153110703321632525.
- Miller, S.L. and Urey, H.C. (1959), "Organic compound synthesis on the primitive Earth", *Science*, Vol. 130 No. 3370, pp. 245–251, doi: 10.1126/science.130.3370.245.
- Oró, J. (1961), "Mechanism of synthesis of adenine from hydrogen cyanide under possible primitive Earth conditions", *Nature*, Vol. 191 No. 4794, pp. 1193–1194, doi: 10.1038/1911193a0.
- Patel, B.H., Percivalle, C., Ritson, D.J., Duffy, C.D. and Sutherland, J.D. (2015), "Common origins of RNA, protein and lipid precursors in a cyanosulfidic protometabolism", *Nature Chemistry*, Vol. 7 No. 4, pp. 301–307, doi: 10.1038/nchem.2202.

- Powner, M.W., Gerland, B. and Sutherland, J.D. (2009), "Synthesis of activated pyrimidine ribonucleotides in prebiotically plausible conditions", *Nature*, Vol. 459 No. 7244, pp. 239–242, doi: 10.1038/nature08013.
- Sutherland, J.D. (2016), "The origin of life—out of the blue", *Angewandte Chemie International Edition*, Vol. 55 No. 1, pp. 104–121, doi: 10.1002/anie.201506585.
- Tait, A.W., Gagen, E.J., Wilson, S., Tomkins, A.G. and Southam, G. (2017), "Microbial populations of stony meteorites: substrate controls on first colonizers", *Frontiers in Microbiology*, Vol. 8, doi: 10.3389/fmicb.2017.01227.
- Thomas, R.H. (2001), "Molecular evolution and phylogenetics", *Heredity*, Vol. 86 No. 3, pp. 385–385, doi: 10.1046/j.1365-2540.2001.0923a.x.
- Wächtershäuser, G. (1988), "Before enzymes and templates: theory of surface metabolism", *Microbiological Reviews*, Vol. 52 No. 4, pp. 452–484, doi: 10.1128/mr.52.4.452-484.1988.
- Wallis, M.K. and Wickramasinghe, N.C. (2004), "Interstellar transfer of planetary microbiota", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 348 No. 1, pp. 52–61, doi: 10.1111/j.1365-2966.2004.07355.x.
- Watson, J.D. and Crick, F.H.C. (1953), "Molecular structure of nucleic acids: a structure for deoxyribose nucleic acid", *Nature*, Vol. 171 No. 4356, pp. 737–738, doi: 10.1038/171737a0.

BAB 2

BIOLOGI SEL

Oleh Annysa Ellycornia Silvyana

2.1 Pengantar Perkembangan Biologi Sel

Perkembangan ilmu tentang sel didukung dengan penemuan alat-alat optik yang membantu dalam pemeriksaan sel yang berukuran mikroskopis dan disimpulkan bahwa sel adalah struktur dasar dan unit fungsional dari makhluk hidup. Dengan mempelajari sejarah perkembangan sel diharapkan mahasiswa mampu menjelaskan bagaimana munculnya biologi sel sebagai ilmu baru dan perkembangannya sampai saat ini. Ilmuwan pertama yang membuat Mikroskop dan Lensa pembesar adalah Zacharias Janssen pada pertengahan Tahun 1500, lalu pada awal abad 17 Galileo Galilei menemukan alat dua lensa yang menggambarkan struktur tipis dari mata serangga.



Gambar 2. 1. Zacharias Janssen
(Sumber : Hartono & Azimata, 2019)



Gambar 2. 2. Galileo Galilei

(Sumber : Hartono & Azimata, 2019)

Pada Tahun 1665 Robert Hooke melakukan pengamatan pertama mengenai sel pada irisan jaringan gabus ubi kayu. Dari penelitiannya memperkenalkan istilah latin “Cellulae” yang berarti ruangan kecil atau rongga kosong sehingga disimpulkan bahwa gabus merupakan bangunan yang berlubang-lubang kecil seperti sarang lebah. Hal ini terjadi karena jaringan gabus yang diamati oleh Robert Hooke merupakan jaringan mati dan sejak saat itulah dikenal istilah sel sehingga Robert Hooke dikukuhkan sebagai penemu sel.



Gambar 2. 3. Robert Hooke

(Sumber : Hartono & Azimata, 2019)

Tahun 1674 selanjutnya Antonie Van Leeuwenhoek dengan menggunakan mikroskop yang masih sangat sederhana dengan menggunakan rendaman air jerami dapat meneliti sel-sel yang bebas dan melihat adanya bangunan di tengah sel yang sekarang dikenal dengan istilah Inti sel.



Gambar 2. 4. Antonie Van Leeuwenhoek

(Sumber : Hartono & Azimata, 2019)

2.2 Struktur dan Fungsi Komponen Sel

Sel merupakan unit terkecil yang menyusun tubuh makhluk hidup dan merupakan tempat terselenggaranya fungsi kehidupan. Sel pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan Inggris bernama Robert Hooke pada tahun 1665. Saat itu Hooke mengamati sayatan gabus dari batang tumbuhan yang sudah mati menggunakan mikroskop sederhana. Ia menemukan adanya ruang ruang kosong yang dibatasi dinding tebal dan menamakannya dengan istilah *cellulae* artinya sel. Penemuan tentang sel berkembang lagi ketika ilmuwan Belanda bernama Antonie van Leeuwenhoek merupakan orang pertama yang menemukan sel hidup. Ia merancang sebuah mikroskop kecil

berlensa tunggal yang digunakan untuk mengamati air rendaman jerami. Ia menemukan organisme yang bergerak-gerak di dalam air yang kemudian disebut bakteri. Sejak saat itu, beberapa ilmuwan berlomba untuk mengetahui lebih banyak tentang sel. Kemudian lahirlah teori-teori tentang sel. Beberapa teori tentang sel sebagai berikut: Sel merupakan kesatuan atau unit struktural makhluk hidup, Tahun 1839 Jacob Schleiden, ahli botani berkebangsaan Jerman mengadakan pengamatan mikroskopis terhadap sel tumbuhan. Pada waktu yang bersamaan Theodore Schwann melakukan pengamatan terhadap sel hewan. Dari hasil pengamatannya mereka menarik kesimpulan bahwa:

- a. Tiap makhluk hidup terdiri dari sel
- b. Sel merupakan unit struktural terkecil pada makhluk hidup
- c. Organisme bersel tunggal terdiri dari sebuah sel, organisme lain yang tersusun lebih dari satu sel disebut organisme bersel banyak.

Sel sebagai unit fungsional makhluk hidup, Max Schultze (1825–1874) menyatakan bahwa protoplasma merupakan dasar fisik kehidupan bukan hanya bagian struktur sel tetapi juga merupakan bagian penting sel sebagai tempat berlangsung reaksi-reaksi kimia kehidupan. Sel sebagai unit pertumbuhan makhluk hidup Rudolph Virchow (1821–1902) berpendapat bahwa *omnis cellula ex cellulae* (semua sel berasal dari sel sebelumnya).

Sel sebagai unit hereditas makhluk hidup Ilmu pengetahuan dan teknologi mendorong penemuan unit-unit penurunan sifat yang terdapat dalam nukleus, yaitu kromosom. Dalam kromosom terdapat gen yang merupakan unit pembawa sifat. Melalui penemuan ini muncullah teori bahwa sel merupakan unit hereditas makhluk hidup. Secara struktural dan

fungsional, sel terdiri dari komponen bahan kimia dan organel-organel sel. Di dalam sel hidup terdapat senyawa kimiawi yang dihasilkan dari aktivitas sel, disebut biomolekul. Seluruh senyawa tersebut saling berinteraksi secara terarah dan teratur sehingga menunjukkan ciri kehidupan. Terdapat perbedaan komposisi senyawa penyusun tubuh hewan dengan tumbuhan. Tubuh hewan banyak mengandung protein, sedangkan tubuh tumbuhan lebih banyak mengandung karbohidrat. Komponen kimiawi sel tersebut merupakan unsur dan senyawa dasar yang penting untuk aktivitas sel di dalam tubuh makhluk hidup. Bahan dasar sebuah sel terdiri dari 70-85% air, sekitar 10-20% protein, 2% lemak, 1% karbohidrat dan elektrolit. Komponen kimia dalam sel dapat berupa komponen anorganik (misalnya air dan ion-ion mineral) dan komponen organik (misalnya karbohidrat, protein, lipida dan asam nukleat) (Hartono & Azimata, 2019).

2.3 Jenis Sel Berdasar Struktur Ultra Sel

(Hartono & Azimata, 2019)

Setiap makhluk hidup tersusun atas sel sebagai unit terkecil yang terdiri atas inti sel, membran sel dan sitoplasma. Akan tetapi berdasarkan struktur ultra sel maka sel terbagi menjadi dua jenis yaitu Sel Prokariotik dan Sel Eukariotik.

1. Sel Prokariotik

Sel Prokariotik adalah sel yang tidak memiliki membran internal sitoplasma baik pada inti sel maupun pada organel sel sehingga inti sel tersebar di dalam sitoplasma atau dengan kata lain sel prokariotik merupakan sel yang tidak memiliki membran baik pada inti sel maupun pada organel sel. sehingga sel prokariotik tidak memiliki organel sel seperti Mitokondria dan organel lainnya hanya

memiliki ribosom sebagai organel sel prokariotik. Contoh sel prokariotik terkecil adalah Nanobacteria yang memiliki diameter 200 nanometer. Sedangkan contoh sel prokariotik terbesar adalah *Thiomargarita Namibiensis* dengan diameter 0,1 - 0,3 mm. Kelompok yang tergolong sel prokariotik adalah organisme tingkat rendah dari filum monera contohnya bakteri dan alga biru (Cyanophyta). Organel-organel sel yang dimiliki prokariotik sangat sederhana dibandingkan dengan sel eukariotik. Beberapa organel yang tidak dimiliki oleh sel prokariotik tapi terdapat pada sel eukariotik antara lain retikulum endoplasma, kompleks golgi, mitokondria, lisosom, dan sentriol.

Organel sel prokariotik antara lain meliputi dinding sel, membran plasma, sitoplasma, ribosom, mesosom, flagela, plasmid, DNA dan RNA. Karakteristik gambaran organel sel Prokariotik sebagai berikut :

- a. Dinding sel Tersusun atas polisakarida, lipid dan protein yang berfungsi sebagai pelindung sel dan memberi bentuk yang konstan. Pada dinding sel terdapat pori-pori sebagai jalan keluarnya molekul.
- b. Membran plasma Tersusun atas lipid bilayer serta protein yang berfungsi sebagai pelindung sel terhadap lingkungan serta mengatur lalu lintas molekul dan ion yang keluar masuk ke sel.
- c. Sitoplasma Sitoplasma merupakan plasma sel yakni cairan yang berada di dalam sel. Cairan sel ini tersusun atas tersusun atas air, mineral, lemak, protein, ion dan nukleotida, enzim yang berfungsi sebagai katalisator dalam proses metabolisme sel, baik anabolisme (pembentukan/sintesis) maupun katabolisme (penguraian/perombakan).
- d. Mesosom Berfungsi sebagai tempat terjadinya respirasi untuk menghasilkan energi. Biasanya mesosom terletak dekat dinding sel yang baru

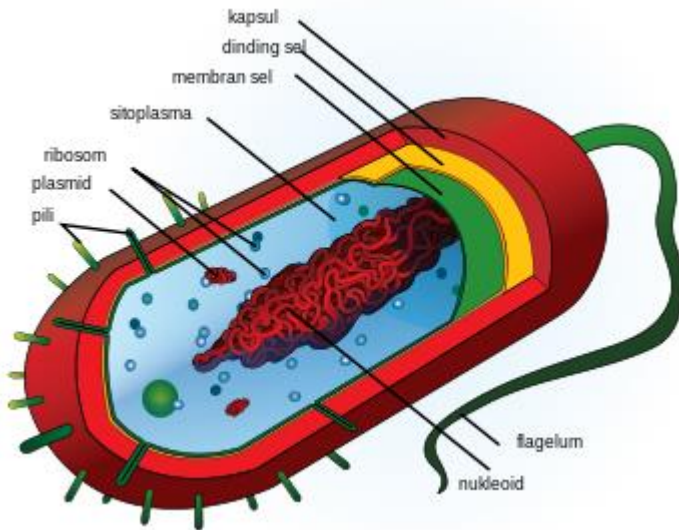
terbentuk pada saat pembelahan biner sel bakteri. Mesosom merupakan pengganti organel mitokondria yang tidak dimiliki oleh sel prokariotik. Baik mesosom maupun mitokondria memiliki fungsi yang sama yaitu untuk menghasilkan energi dalam bentuk ATP (Adenine Tri Phospat). Energi yang dihasilkan oleh mesosom hanya 2 ATP saja, sangat rendah dibandingkan dengan mitokondria yang dapat menghasilkan energi hingga 38 ATP. Hal ini karena energi yang dibutuhkan untuk hidup pada kelompok sel prokariotik sangat sedikit dibandingkan oleh kelompok sel prokariotik.

- e. Ribosom Berfungsi sebagai tempat sintesa protein. Di dalam *Escherichia coli* terkandung 15.000 butir ribosom atau 25 % massa total sel bakteri. Baik sel prokariotik maupun eukariotik memiliki organel ribosom karena fungsinya yang sangat penting dalam proses pembentukan protein yang sangat diperlukan untuk pembentukan DNA, RNA dan pertumbuhan makhluk hidup.
- f. DNA dan RNA Deoksiribonukleat Acid (DNA) berfungsi membawa informasi genetik yakni sifat yang akan diwariskan kepada keturunannya, sementara Ribo Nukleat Acid merupakan senyawa hasil transkripsi DNA. Baik DNA maupun RNA tersusun atas fosfat, gula pentosa dan basa nitrogen. Pembahasan perbedaan dua senyawa ini akan dibahas pada pertemuan berikutnya.
- g. Plasmid Merupakan cincin DNA bakteri berbentuk sirkuler (bulat), dapat bereplikasi serta digunakan untuk pertahanan. Plasmid digunakan sebagai vektor dalam pembuatan hormon insulin untuk mengobati penyakit Diabetes mellitus. Teknik rekayasa genetika yakni pembentukan insulin untuk mengobati Diabetes

mellitus oleh bakteri *Eschericia coli* lebih detail akan diberikan pada materi berikutnya.

- h. Flagella dan Filli Sel Flagella digunakan sebagai alat gerak sementara fili sebagai alat untuk menempel pada sel hospes.

Secara struktural, komponen sel yang menyusun sel sebagai berikut:



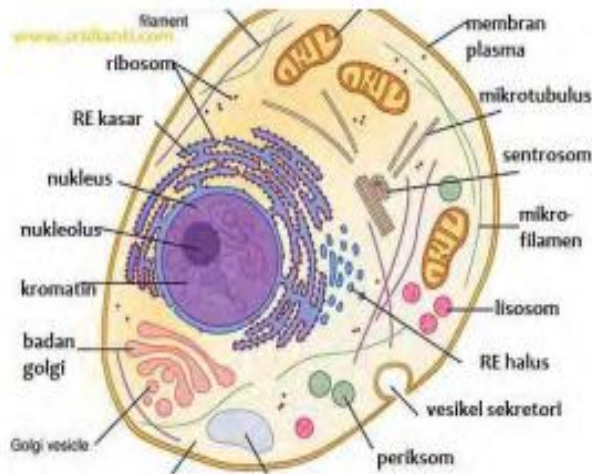
Gambar 2. 5. Sel Prokariotik

(Sumber : Hartono & Azimata, 2019)

2. Sel Eukariotik

Sel Eukariotik adalah sel yang memiliki membran inti sehingga inti sel terkumpul pada daerah inti sel dan memiliki dua jenis organel yaitu organel bermembran dan tidak bermembran. Sel eukariotik merupakan sel yang memiliki membran nukleus (inti sel) sehingga bahan inti berada di dalam nukleus. Sel eukariotik umumnya dimiliki

oleh makhluk hidup multiseluler sehingga memiliki organel yang lebih lengkap dibandingkan dengan sel tipe prokariotik (uniseluler). kelompok yang tergolong eukariotik adalah sel hewan, sel tumbuhan, fungi, protista. Organel sel eukariotik antara lain terdiri dari membran plasma, sitoplasma, nukleus, sentriol, retikulum endoplasma, kompleks golgi, lisosom, peroksisom, mitokondria, mikrotubulus dan mikrofilamen.



Gambar 2. 6. Organel Sel
(Sumber : www.Sridianti.com)

a. Membran plasma

Membran plasma tersusun atas lipid dan protein, glikolipid, glikoprotein, polisakarida. Membran plasma terdiri atas lipid bilayer yakni dua lapis lipid yang ditengahnya terdapat protein (teori model membran mozaik cair). Lipid tersusun atas kepala (head) yang bersifat hidrofilik (mendekati air) dan ekor (tail) yang bersifat hidrofobik (menjauhi air). Protein terdiri atas protein perifer (tepi) dan protein integral. Protein perifer merupakan protein yang terdapat pada bagian tepi luar dan dalam membran. Protein integral menembus masuk

ke dalam lapisan lipid. Molekul gula berdasarkan tempatnya terbagi atas dua yaitu gula yang melekat pada lipid dinamakan glikolipid, sementara gula yang melekat pada protein dinamakan glikoprotein. Membran plasma berfungsi mengatur keluar masuknya molekul, melindungi isi sel dan menerima rangsangan dari luar.

b. Sitoplasma

Sitoplasma sebagian besar tersusun atas air dan berisi bahan kimia baik yang bermolekul besar maupun kecil seperti protein, enzim, ion organik dan anorganik, gula, lemak, nucleotide dll. Semua senyawa yang tersuspensi di dalam sitoplasma berguna dalam proses metabolisme sel dalam mempertahankan hidupnya.

c. Nucleus

Nucleus merupakan organel paling besar di dalam sel yang berperan dalam mengatur aktivitas sel dan pembawa informasi genetik. Nucleus terdapat kromatin, nucleolus, protein, asam nucleat, beberapa unsur seperti Mg, Ca, Na, K, P. Nucleus terbagi atas 3 bagian yakni membran nucleus, nucleoplasma (cairan nucleus) sebagai tempat beradanya kromosom, serta nucleolus sebagai tempat terjadinya transkripsi dalam proses sintesis protein.

d. Sentioli

Merupakan organel yang berperan dalam pembelahan sel. Sentioli terdiri atas sepasang yang pada saat pembelahan sel akan terbagi menjadi dua, masing masing bagian akan menuju ke kutub sel sehingga terbentuk benang spindel yang menarik kromosom menuju kutub yang berlawanan.

- e. Ribosom Ribosom sangat berperan dalam sintesa protein. Baik sel prokariotik dan eukariotik sama-sama memiliki organel ini. Terdiri atas ribosom bebas yang tersebar di dalam sitoplasma dan ribosom terikat yang melekat dalam di Retikulum Endoplasma.

- f. Retikulum Endoplasma (RE)

Retikulum endoplasma merupakan organel yang berfungsi dalam proses transportasi protein. Membran RE menyatu dengan membran nukleus sehingga hasil sintesis protein pada nukleus akan langsung dibawa ke sitoplasma melewati RE. RE dibedakan menjadi: 1) RE kasar merupakan RE yang ditempeli ribosom. RE kasar ditemukan pada sel yang memproduksi protein. 2) RE halus/RE merupakan RE yang tidak ditempeli ribosom berfungsi sebagai tempat metabolisme asam lemak misalnya pada sel pankreas.

- g. Kompleks Golgi

Merupakan organel sekretori dan mengatur keluar suatu senyawa dari sel sehingga terdapat antara RE dan membran plasma. Kompleks golgi memiliki membran pipih, berpembuluh, jika di amati di bawah mikroskop bentuknya seperti mangkuk.

- h. Lisosom

Berperan dalam pencernaan intraseluler yang mengandung enzim hidrolitik bernama lisosom. Enzim ini bertugas zat yang masuk ke dalam sel. Sebagai contoh benda asing misalkan bakteri masuk ke dalam sel, maka bakteri akan dimasukkan ke dalam vakuola. Selanjutnya lisosom akan datang dan mencerna bakteri tersebut. Penyakit rematik terjadi karena kegagalan lisosom mencerna asam urat yang dihasilkan dari makanan.

i. Peroksisom

Peroksisom mengandung enzim katalase yang berfungsi memecah hidrogen peroksida (H_2O_2) menjadi H_2O dan O_2 . Hidrogen peroksida merupakan hasil samping dari proses respirasi sel yang bersifat racun. Salah satu cara untuk mencegah hidrogen peroksida membahayakan tubuh adalah dengan melisis senyawa tersebut. Enzim katalase yang dihasilkan peroksisom akan memecah hidrogen peroksida (H_2O_2) menjadi H_2O dan O_2 sehingga tidak membahayakan bagi tubuh. Sel yang banyak mengandung peroksisom dapat kita jumpai pada sel hati yang bertugas untuk menetralkan racun.

j. Mitokondria

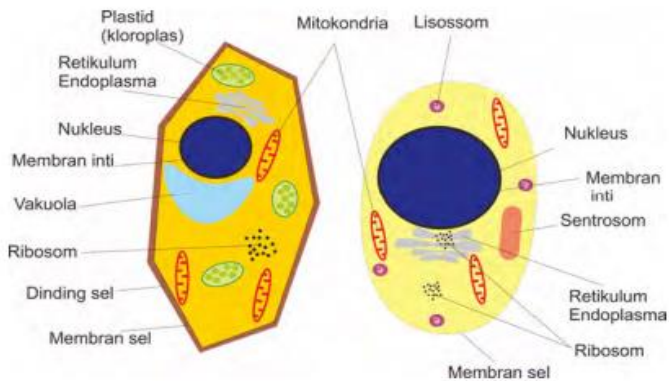
Merupakan organel sel yang berfungsi sebagai tempat respirasi sel untuk menghasilkan energi dalam bentuk ATP (Adenine Triphosphate). Mitokondria merupakan organel yang mempunyai DNA. Organel lain yang punya DNA adalah inti sel (nucleus) dan plastida. Mitokondria tersusun atas membran rangkap yakni membran dalam dan membran luar. Respirasi terjadi pada membran dalam mitokondria tepatnya pada cristae untuk proses transpor elektron dan pada matrik untuk siklus kreb dan dekarboksilasi oksidatif pada proses respirasi.

k. Mikrotubulus & Mikrofilamen

Mikrotubulus berfungsi sebagai penyusun sentriol yang sangat berperan dalam pembelahan sel, sementara mikrofilamen berfungsi dalam pembentukan flagela dan silia sebagai pergerakan sel.

2.4 Perbedaan Sel Hewan dan Sel Tumbuhan

Sel hewan dan sel tumbuhan merupakan jenis sel eukariotik tetapi kedua sel ini memiliki perbedaan. Ada beberapa organel yang dimiliki oleh sel tumbuhan tapi tidak dimiliki sel hewan, begitu juga sebaliknya. Contohnya organel plastida berfungsi untuk proses fotosintesis yang hanya terdapat pada sel tumbuhan tapi tidak terdapat pada sel hewan. Berikut gambar perbandingan antara sel hewan dan sel tumbuhan.



Gambar 2. 7. Perbedaan Sel Tumbuhan (Kiri) dan Sel Hewan (Kanan)

(Sumber : Hartono & Azimata, 2019)

2.4 Bentuk, Ukuran dan Metabolisme Sel

Sel merupakan unit terkecil secara struktural, fungsional dan reproduktif setiap makhluk hidup dengan berkembangnya mikroskop cahaya, terlebih setelah dikembangkannya mikroskop elektron, pengkajian terhadap sel semakin tumbuh berkembang pula. Sayatan organ hewan maupun tumbuhan bila diamati dengan mikroskop terlihat bahwa terdiri atas sejumlah sel. Sel-sel tersebut ada yang terkemas rapat satu dengan lainnya, ada pula yang terpisahkan oleh senyawa yang disebut substansi antarsel atau matriks ekstrasel (MES). Umumnya

setiap sel memiliki garis tengah antara 5–20 mikrometer. Struktur internal sebuah sel sulit diamati. Sel memiliki keanekaragaman baik bentuk dan ukurannya. Bentuk sel dapat berbentuk bulat, bulat panjang, memanjang berbentuk segi lima, segi enam, persegi banyak, pipih atau berbulu. Pada umumnya sel berukuran sangat kecil atau mikroskopis antara 5-100 dengan Skala pengukurannya menggunakan μm atau mikrometer sama dengan mikron. Satu mikrometer sama dengan seperseribu mm. Berdasarkan contoh sel bakteri berukuran 4-10 μm sedangkan sel protozoa dapat dilihat dengan mata tanpa bantuan mikroskop. Ukuran sel-sel prokariotik pada umumnya kecil, dengan panjang hanya beberapa mikrometer, sedangkan diameternya satu mikrometer atau kurang. Hampir semua sel prokariotik memiliki dinding sel dan kapsula. Dinding sel bersifat kaku berada di permukaan luar selaput sel. Kapsula berupa cairan sangat kental dan bersifat kenyal. Dinding sel dan kapsula berperan sebagai pelindung sel. Selaput sel prokariotik memiliki berbagai peran. Peran yang terpenting adalah mengatur lalu-lintas senyawa yang melewatinya. Selain itu, sebagian besar sistem molekuler yang memecah bahan bakar untuk menjadi tenaga, juga berada di selaput sel. Pada bakteri fotosintesis dan sianobakteri, molekul-molekul penyerap dan pengubah cahaya menjadi tenaga kimia, berada pula di selaput sel beserta turunannya yang berupa lipatan-lipatan disebut mesosom. Pada selaput sel terdapat protein-protein yang berperan sebagai reseptor dan pengikat molekul-molekul khas yang berada di sekitarnya. Pengikatan molekul-molekul tersebut memicu terjadinya reaksi- reaksi interna yang memungkinkan sel memberi tanggapan pada lingkungannya. Selaput sel prokariota, berperan pula pada proses replikasi dan pembelahan senyawa pembawa warisan. Nucleoid prokaryotic, berada di sitoplasma tanpa dibatasi oleh suatu selaput. Bentuk nukleoid tidak teratur. Nukleoid berisi sejumlah serabut yang sangat halus. Ketebalan serabut tersebut berkisar antara 3 sampai 5 nanometer. Nukleoid berisi sebuah molekul DNA besar

yang berbentuk lingkaran. Pada *Escherichia coli* panjang DNA adalah 1360 mikrometer, sedangkan pada beberapa bakteri lainnya berkisar antara 250–1500 mikrometer. Molekul DNA sepanjang ini terkemas di dalam sebuah sel yang berukuran antara 1–2 mikrometer. Sitoplasma yang memiliki nukleoid, pada umumnya terlihat berwarna pekat di elektromikrograf. Kenampakan tersebut disebabkan oleh kehadiran ribosom dalam jumlah besar. Ribosom merupakan zarah kecil berbentuk membulat dengan diameter 20–30 nanometer. Pada bakteri, ribosom terdiri atas 50 macam protein dan beberapa macam RNA. Badan-badan kecil yang rumit tersebut merupakan tempat perakitan asam amino menjadi protein. Pada beberapa prokaryota yang lebih berkembang, selain ribosom terdapat pula vesikel atau vakuola. Isi vakuola bervariasi sesuai jenisnya. Metabolisme Sel adalah merupakan proses kimia yang terjadi di dalam tubuh makhluk hidup atau sel. Melibatkan pertukaran zat atau organisme dengan lingkungannya dimana pada proses ini memungkinkan sebuah organisme untuk melakukan umpan balik dengan lingkungannya, memproses energi, tumbuh dan berkembang biak untuk mempertahankan hidup.

DAFTAR PUSTAKA

- Campbell NA, dkk. 2000. Biologi. Edisi Kelima. Jilid 1. Jakarta: Erlangga. 265-267.
- Rodhi Hartono & Rudina Azimata. 2019. Bahan ajar teknologi bank darah (TBD) : biologi sel dan genetika.— Jakarta : Kementerian Kesehatan RI.
- Walker, Sharon. 2014. Menyingkap Tabir Bioteknologi-Panduan Belajar Mandiri., Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- www.Sridianti.com (Diakses 23 Februari 2024, Pukul 16.00)

BAB 3

GENETIKA

Oleh Andi Faridah Aرسال

3.1 Pendahuluan

Genetika merupakan salah satu cabang ilmu Biologi. Genetika mempelajari tentang pewarisan sifat, mekanisme, dan materi pewarisan makhluk hidup. Ilmu genetika sangat berperan dalam memahami keanekaragaman makhluk hidup, membantu memahami kelainan pewarisan pada makhluk hidup khususnya pada manusia, dan cara mencegah terjadinya.

Secara lebih rinci, lingkup genetika berkaitan pada material pembawa informasi dalam tubuh makhluk hidup untuk diekspresikan dan diwariskan ke generasi berikutnya. Materi pewarisan disebut pula materi genetis, karena merupakan materi pembawa informasi yang diwariskan secara turun temurun. Materi pewarisan tersebut merupakan molekul dioksiribonukleat acid (DNA) yang terkemas ke dalam bentuk kromosom. DNA adalah molekul polimer ganda polynukleotida yang membawa dan menyimpan informasi genetik dalam semua organisme. Menentukan terselenggaranya proses hidup pada seluruh makhluk hidup. Mengatur fungsi sel dan perkembangan organisme atau sebagai pusat pengendali aktivitas sel (Hochachka & Somero. 1984).

DNA berupa molekul yang terdiri dari dua untai yang saling melilit membentuk struktur heliks ganda. Setiap untai DNA terdiri dari serangkaian nukleotida yang terdiri dari gula deoksiribosa, gugus fosfat, serta basa nitrogen berupa pasangan

purin dan pirimidin; adenin (A), timin (T), guanin (G), dan sitosin (C). Adenin berpasangan dengan timin, guanin berpasangan dengan sitosin, setiap pasangan dihubungkan oleh ikatan hidrogen. Dengan demikian rentangan DNA bukan merupakan untai tunggal, tetapi merupakan untai ganda berbentuk doble heliks (Yuwono, T. 2008).

Fungsi utama DNA adalah sebagai informasi genetik yang diperlukan bagi sintesis seluruh jenis protein yang berperan besar pada seluruh aspek kehidupan. DNA terletak terentang di dalam setiap sel makhluk hidup baik pada eukaryotik maupun pada prokaryotik. Pada batas sekuen atau sekmen-sekmen tertentu dalam rentangan DNA merupakan kode atau sandi khusus untuk protein spesifik yang berbeda. Sekmen DNA yang bertanggungjawab untuk sintesis protein tertentu disebut “Gen”. Secara ringkas Gen memiliki fungsi sebagai Materi hereditas, Penentu suatu sifat, Penyimpan informasi, pengendali aktivitas sel, dan Penyimpan memori sejati. Dalam kondisi sel akan mengalami proses pembelahan, DNA terkemas dalam struktur yang disebut kromosom. Dengan demikian Gen-gen menempati setiap posisi dalam kromosom. Posisi gen dalam kromosom disebut lokus (Richards & Hawley, 2010).



Gambar 3. 1. Ilustrasi double Helix DNA

Sumber: <https://www.shutterstock.com/id/search/%22dna-helix%22>

Quran Surat Yasin Ayat 36:

يَعْلَمُونَ لَا وَمِمَّا أَنْفُسِهِمْ وَمِنْ الْأَرْضِ تُنْثَبِتُ مِمَّا كَلَّمَهَا الْأَرْوَاحَ خَلَقَ الَّذِي سُبْحَنَ

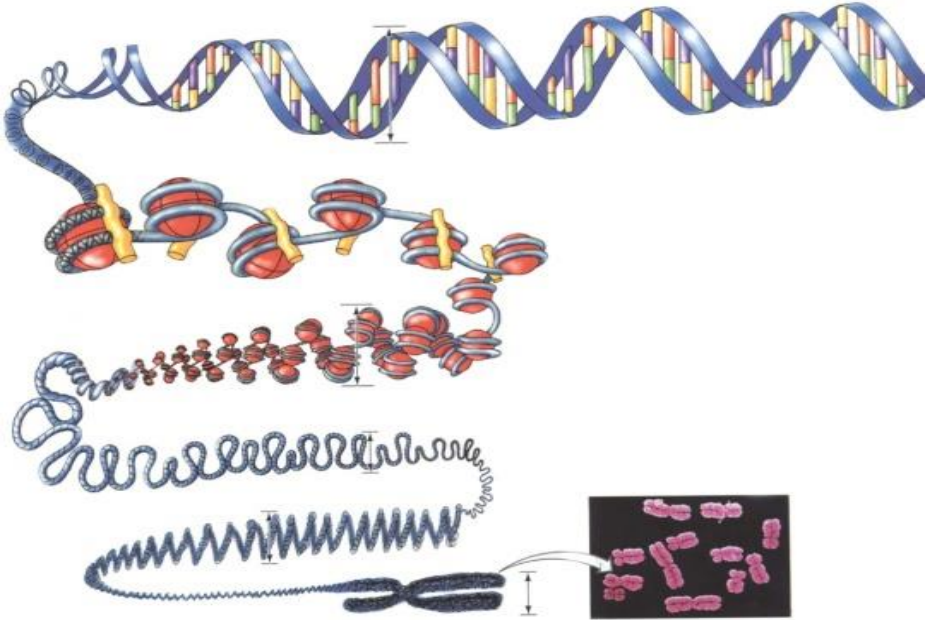
Artinya: “Maha suci Allah yang telah menciptakan semuanya berpasang-pasangan, baik dari apa yang ditumbuhkan oleh bumi, dan dari mereka sendiri, maupun dari apa yang tidak mereka ketahui” (<https://tafsirweb.com/7992-quran-surat-yasin-ayat-36>).

Maha suci Allah dengan seluruh firmanNya. Allah maha bersungguh-sungguh, menciptakan makhlukNya berpasangpasangan hingga bagian terkecilpun dari makhlukNya ternyata juga berpasangan.

3.2 Kromosom

Kromosom merupakan bentuk pengemasan polynukleotida DNA. Untuk sebuah kromosom dapat mengandung hingga 1000 gen seperti pada kromosom nomor 1 manusia. Pada organisme multiselluler memiliki variasi jumlah kromosom, umumnya memiliki jumlah yang berbeda. Misalnya pada manusia memiliki jumlah kromosom 46 atau 23 pasang, pada simpanse memiliki jumlah kromosom 48 atau 24 pasang. Ada juga dua atau lebih organisme memiliki jumlah kromosom yang sama, tetapi tentu dengan genom yang berbeda. Hal yang pasti pada seluruh organisme multiseluler adalah jumlah kromosom yang dimiliki tak pernah berubah selama hidupnya dan keberadaannya. Secara normal Jumlah kromosom selalu berpasangan pada setiap organisme. Melalui mikroskop cahaya, penampilan seluruh kromosom suatu organisme dapat dibedakan antara satu dengan yang lainnya. Hal ini dikarenakan ukuran

kromosom dan posisi sentromernya berbeda. Setiap kromosom juga memiliki suatu pola pita atau garis tertentu ketika diberi zat warna tertentu (Ridley, 2005).



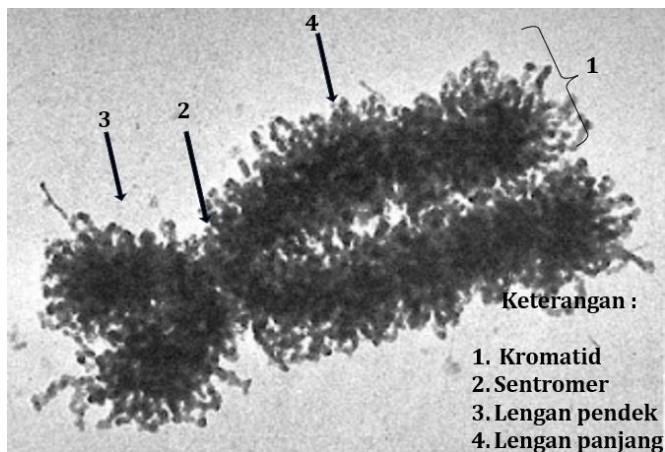
Gambar 3. 2. Struktur kromosom (pengemasan polynukleotida DNA dengan protein yaitu histon membentuk nukleosom hingga memadat membentuk solenoid. Solenoid-solenoid memadat membentuk kromatin hingga terkemas ke dalam bentuk kromosom)

Sumber: <https://www.slideshare.net/ichottt28/substansi-genetika> dalam Arsal 2023.

3.2.1 Morfologi, Struktur dan Fungsi Kromosom

Setiap kromosom memiliki bagian yang disebut sentromer. Sentromer adalah daerah lekukan pada kromosom dan sebagai letak kinetokor. Kinetokor adalah tempat tertautnya spindle fiber saat pembelahan sel. Saat pembelahan sel akan terjadi, setiap kromosom akan mengganda dengan membentuk

kromatin, tetapi masih saling melekat di bagian sentromer hingga proses pembelahan terjadi. Pada pembelahan mitosis, setiap kromosom akan terbagi dengan jumlah yang sama pada masing-masing sel setelah proses pembelahan. Pada pembelahan meiosis, setiap kromosom akan terbagi merata berdasarkan komposisinya, tetapi tidak dengan jumlah yang sama. Hal tersebut disebabkan oleh terpisahnya pasangan kromosom homolog. Berdasarkan letak sentromer pada proses pembelahan fase metafase, kromosom memiliki variasi bentuk yang disebut metasentris, submetasentris, akrosentris, dan telosentris.

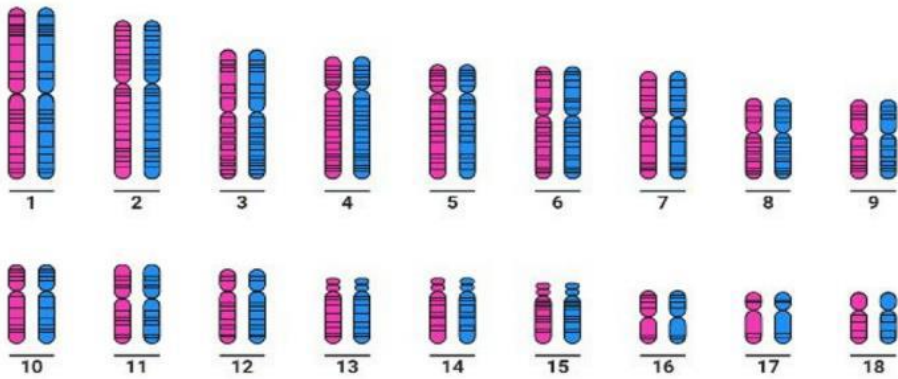


Gambar 3. 3. Kromosom dalam kondisi siap membelah dan bagian-bagiannya. Penampilan kromosom melalui mikroskop elektron

Sumber: <https://konsepbiologi.wordpress.com/tag/nukleosom/>

3.2.2 Karyotip

Karyotip merupakan tampilan visual kromosom setiap individu pada setiap spesies. Tipe dan jumlah kromosom setiap makhluk hidup berbeda-beda. Dengan mikroskop cahaya, seluruh kromosom dapat dibedakan satu dengan yang lain dari penampilannya. Hal ini dikarenakan ukuran kromosom dan posisi sentromernya berbeda. Kromosom dapat diurutkan dan dikelompokkan berdasarkan jenis dan ukurannya. Sebagai contoh karyotip kromosom manusia pada gambar 4, memperlihatkan 23 pasangan kromosom. Terdapat dua pengelompokan besar kromosom berdasarkan asalnya yaitu; kromosom paternal (warna biru pada gambar 4) dan kromosom maternal (warna pink pada gambar 4). Kromosom paternal adalah perangkat kromosom yang berasal dari ayah yang dibawa oleh sperma, sedangkan kromosom maternal adalah perangkat kromosom yang berasal dari ibu yang dibawa oleh sel telur. Antara kromosom paternal dan kromosom maternal saling berpasangan yang disebut sebagai pasangan kromosom homolog, sehingga terdapat 23 kelompok kecil jenis kromosom homolog. Terdapat pula dua jenis kromosom berdasarkan fungsinya sebagai penentu sifat tubuh dan ciri kelamin yaitu Kromosom Autosomal dan kromosom kelamin (Arsal, 2023).

Kromosom Autosom**Kromosom Kelamin****Gambar 3. 4. Karyotip Kromosom Manusia**

Sumber: Kadir St Fatimah dalam Arsal, 2023.

Kromosom autosomal tidak ada hubungannya dengan penentuan jenis kelamin. Manusia memiliki 22 pasang kromosom autosom (total 44) yang diberi nomor 1 sampai nomor 22. Angka ini menunjukkan besarnya autosom. Misalnya, kromosom 1 adalah terpanjang dan kromosom 22 yang terpendek. Dalam sebuah karyogram, kromosom homolog ditempatkan di samping satu sama lain. Sebagai contoh, kedua salinan kromosom 1 diletakkan berdampingan demikian hingga kromosom nomor 23. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar 4.

Kromosom kelamin adalah kromosom yang berperan dalam penentuan jenis kelamin serta perkembangan karakteristik seksual pada suatu organisme. Kromosom kelamin atau kromosom seks terdapat secara berpasangan pada sel somatik, sementara dalam sel kelamin atau gamet hanya tunggal.

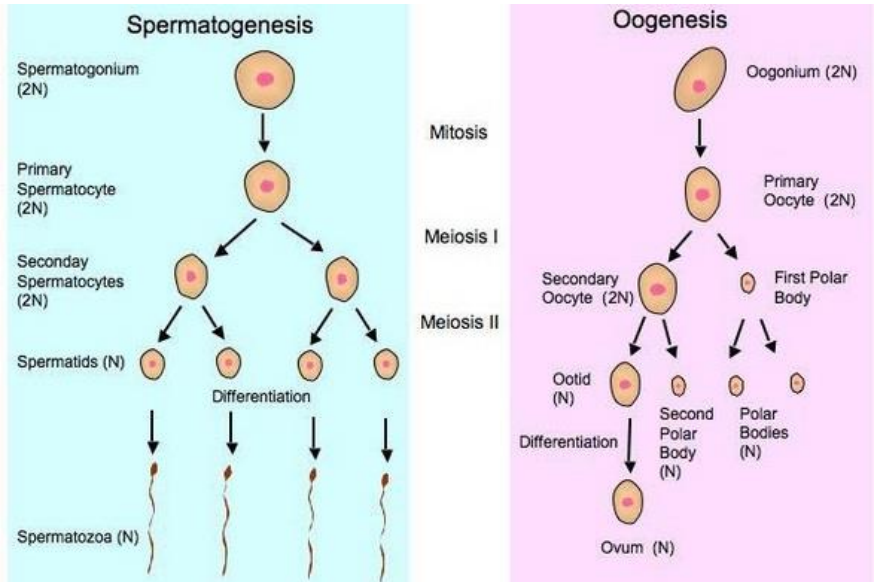
Kromosom kelamin menyebabkan dan menentukan seseorang menjadi laki-laki atau perempuan. Umumnya pada makhluk hidup terdapat dua jenis kromosom kelamin yakni kromosom X dan Y. Kromosom X menentukan jenis kelamin betina dan kromosom Y menentukan jenis kelamin jantan. Pada karyotip manusia, pasangan kromosom homolog nomor 23 adalah kromosom kelamin.

3.3 Mekanisme Pewarisan sifat

DNA yang terkemas ke dalam bentuk kromosom diwariskan secara turun menurun. Pewarisan kromosom secara turun temurun melalui suatu mekanisme, sehingga seluruh DNA dan ciri yang disandi pun diwariskan pula secara turun temurun. Mekanisme atau cara pewarisan sifat dari satu generasi ke generasi berikutnya melalui proses pembuahan (fertilisasi). Proses pembuahan merupakan pertemuan antara gamet jantan dan gamet betina. Pertemuan antara gamet dari hasil pembuahan akan menghasilkan individu baru yang disebut zigot. Masing-masing gamet membawa 1 set kromosom haploid yang saling bertemu membentuk pasangan homolog menghasilkan sel diploid.

3.3.1 Gametogenesis

Gametogenesis adalah proses pembentukan sel gamet. Sel soma dengan jumlah kromosom diploid melalui proses pembelahan sel secara meiosis akan menghasilkan sel gamet haploid. Melalui gametogenesis perangkat materi informasi yang tersimpan dalam kromosom dapat diwariskan secara turun-menurun dan konstan.

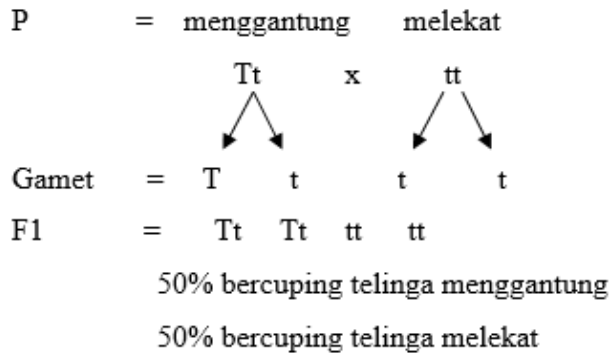


Gambar 3. 5. Gametogenesis pada spermatogenesis dan oogenesis

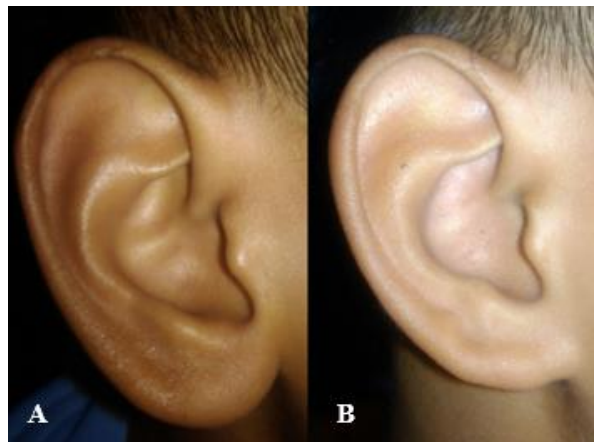
Sumber: www.edubio.info dalam Arsal, 2018

3.3.2 Hukum Mendel

Pemisahan Alel (*Segregation of Allel*) dan pengelompokan gen secara bebas sebagai Hukum Mendel I dan II memberikan pemahaman yang jelas tentang cara atau proses pewarisan sifat dari orangtua ke anak atau dari induk ke keturunannya. Setiap pasangan gen yang terdapat pada pasangan kromosom homolog akan melalui proses pemisahan pada saat gametogenesis berlangsung. Gamet yang dihasilkan merupakan sel haploid dan akan kembali menjadi diploid setelah terjadinya fertilisasi. Pada masa Mendel melakukan penelitiannya, belum ditemukan istilah “Gen”. Mendel menggunakan istilah “faktor penentu” dan “Allel”.



Gambar 3. 7. Contoh Diagram Perkawinan untuk Sifat Bentuk Telinga. Sumber: Arsal, 2018



Gambar 3. 8. Bentuk Telinga. A bertelinga menggantung. B Bertelinga melekat. Sumber: Arsal, 2018

3.4 Pola-pola Pewarisan sifat

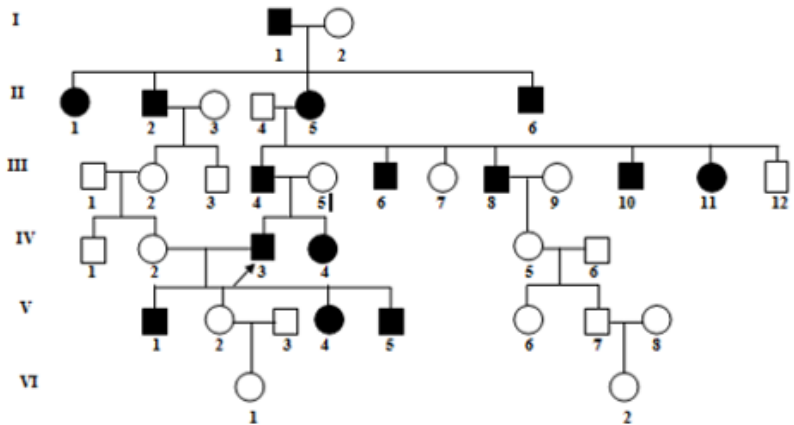
Hampir seluruh Pewarisan sifat yang tergolong pada sifat yang disandi oleh sepasang gen memiliki pola yang jelas dan sederhana, sehingga pewarisannya sudah dapat diketahui atau diprediksi. Terdapat tujuh pola pewarisan sifat yang umum dijumpai pada makhluk hidup termasuk pada manusia. Pola

pewarisan sifat tersebut adalah Sex Y linkage, Sex X linkage Dominan, Sex X linkage Resesif, Dominan Autosomal, Resesif Autosomal, Sifat yang Ekspresinya dipengaruhi jenis kelamin, dan Sifat yang Ekspresinya dibatasi jenis kelamin.

3.4.1 Sifat yang Ditentukan oleh Sepasang Gen

Berikut adalah penjabaran dari pola pewarisan Dominan Autosomal dengan contoh kasus sifat Tobalo. Tobalo adalah kelainan yang dimiliki oleh sekelompok masyarakat yang hidup di daerah terpencil di Kabupaten Barru Sulawesi Selatan. Kelainan tersebut berupa belang di sekujur tubuh. Ciri belang yang mereka miliki sama antara satu dan lainnya. Di sekujur tubuh terutama kaki, badan, dan tangan, penuh bercak putih, bercak putih ini sudah ada sejak mereka lahir. Sejak lahir sudah menunjukkan ciri ini dan tak pernah memudar atau menghilang. (Arsal, 2018)

Berdasarkan silsilah keluarga Tobalo memperlihatkan karakteristik yang sesuai dengan semua sifat yang berpola Dominan Autosomal. Tobalo disebabkan oleh gen dominan yang kemunculannya pada setiap generasi selalu ada. Jika pada suatu hasil perkawinannya tidak memunculkan lagi sifat Tobalo, maka tak akan pernah lagi muncul di generasi berikutnya.



Keterangan:

- Laki-laki Normal
- Perempuan Normal
- ↗ Probandus
- Laki-laki Penderita Tobalo
- Perempuan Penderita Tobalo

Gambar 3. 9. Silsilah Keluarga Tobalo

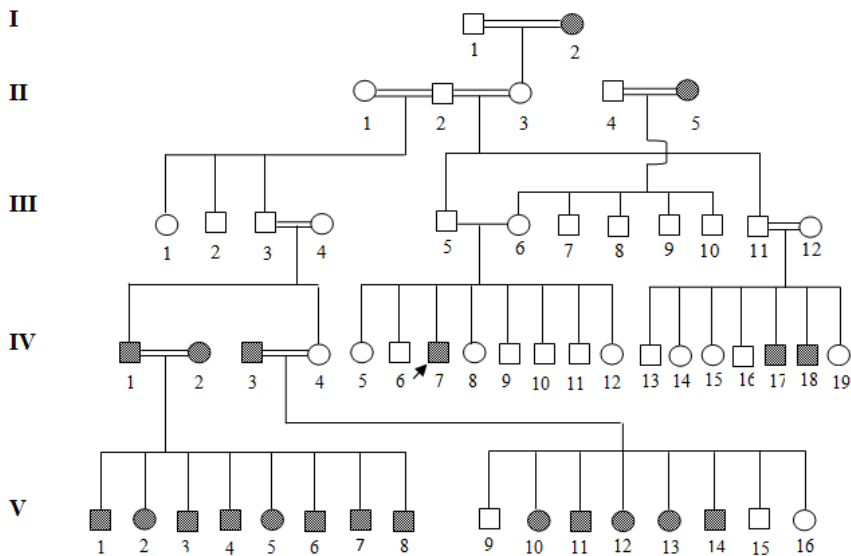
Sumber: Arsal, 2018



Gambar 3. 10. Anggota keluarga dengan ciri Tobalo

Sumber: Arsal, 2018.

Pola pewarisan lainnya yaitu resesif autosomal, diwakili oleh sifat Cadel pada manusia. Sifat cadel adalah ketidakmampuan seseorang melafatskan huruf konsonan “r”. Cadel disebabkan oleh organ artikulasi yang tidak mampu memunculkan getaran pada penyebutan huruf “r”. Sifat Cadel yang berkaitan masalah genetis telah diteliti pada tahun 1994 kemudian dilanjutkan pada tahun 2012 (Arsal, 2012). Silsilah keluarga cadel berikut menunjukkan ciri umum pola pewarisan resesif autosomal. Melalui silsilah keluarga mudah terlihat terjadinya pelompkatan generasi, karena gen resesif tidak akan terekspresi dengan adanya gen dominan. Ciri yang paling unik adalah jika terjadi perkawinan antara dua orang yang sama-sama memiliki sifat yang sedang ditinjau seperti pada perkawinan dua orang cadel (IV1 dan IV2), menghasilkan seluruh anak yang cadel.



Gambar 3. 11. Silsilah keluarga Cadel (Pola Resesif Autosomal)

Sumber: Arsal, 2012.

3.4.2 Sifat yang Ditentukan oleh Dua Pasang Gen Saling Berinteraksi

Sifat yang ditentukan oleh dua pasang gen saling berinteraksi dapat dikelompokkan pada kelompok besar antara lain; kelompok interaksi komplementer, kodominan, dan epistasis. Cara diwariskannya sifat tersebut tetap dapat diterangkan dengan pedoman hukum Mendel. Pemisahan gen (HK Mendel I) dan pengelompokan gen secara bebas (HK Mendel II) tetap merupakan prinsip dasar dalam cara diwariskannya sifat dari orangtua ke anak atau dari parental ke filial.

Interaksi Komplementer adalah peristiwa saling mempengaruhi atau melengkapi dalam mengekspresikan suatu sifat. Komplementer merupakan bentuk kerjasama yang saling melengkapi untuk memunculkan suatu karakter. Contohnya pada interaksi dua Gen dominan yang mesti terdapat bersama-sama dalam genotip untuk menentukan kemampuan berbicara dan mendengar pada manusia. Bila salah satu gen dominan tidak ada, maka pemunculan sifat terhalang. Kemampuan mendengar dan berbicara pada manusia ditentukan gen dominan “D” dan gen dominan “E”, tanpa salah satunya atau keduanya menyebabkan sifat bisu tuli (*Deaf mutism*).

Berikut genotip dan fenotip yang dapat terjadi (Tabel 3.1) dari kombinasi yang memungkinkan antara dua gen dominan “D” dan gen dominan “E”.

Tabel 3. 1. Daftar Genotip dan Fenotip Seseorang terhadap Sifat Bisu Tuli

GENOTIP	FENOTIP
DDEE	Normal
DdEe	Normal
DDEe	Normal
DdEE	Normal
DDee	bisu tuli
ddEE	bisu tuli
Ddee	bisu tuli
ddEe	bisu tuli
ddee	bisu tuli

Sumber: Arsal, 2018.

Perkawinan antara orang bisu tuli dapat memiliki anak yang normal, seperti yang ditunjukkan diagram perkawinan di bawah.

- P : ♂ Bisu tuli x ♀ Bisu tuli

DDee ddEE

Gamet : De dE

F1 : DdEe

Normal

Sebaliknya, perkawinan antara orang normal dapat melahirkan anak yang bisu tuli. Dapat dipelajari dari diagram perkawinan berikut.

2. P : ♂ Normal x ♀ Normal

DdEe x DdEe

Gamet :	DE	DE
	De	De
	dE	dE
	de	de

Anak-anak yang dapat dilahirkan dari perkawinan diagram 2 di atas akan memiliki peluang kombinasi genotip dari hasil pertemuan gen yang dibawa oleh gamet. Sebagai contoh, Gamet Sperma “DE” membuahi sel telur “DE” akan menghasilkan zigot dengan genotip DDEE. Jika sperma “De” membuahi sel telur “de” akan menghasilkan zigot bergenotip “Ddee”. Seseorang bergenotip Ddee menderita bisu tuli.

3.4.3 Poligen

Berbagai variasi di dalam suatu kelas fenotip dapat pula disebabkan oleh pengaruh poligen. Sifat yang disebabkan oleh pengaruh poligen tidak mudah digolongkan kedalam kategori fenotip yang jelas, artinya fenotipnya membentuk suatu spektrum tergantung pada jumlah gen yang berkontribusi. Fenotipnya dapat dikelompokkan dalam interval kelas yang mempunyai distribusi frekuensi dan berpuncak satu. Dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan gambar 3.11.

Salah satu sifat yang disebabkan oleh pengaruh poligen adalah Aktivitas nitrat reduktase (ANR). ANR merupakan enzim yang sangat berperan dalam metabolisme Nitrat. ANR telah lama diteliti berhubungan dengan daya hasil dan pertumbuhan

tanaman. Aktivitas NR diatur oleh faktor genetik. Spesies yang secara genetik mampu mensintesis enzim dalam jumlah yang besar akan memiliki aktivitas enzim yang tinggi dalam lingkungan optimal. Penelitian yang telah dilakukan pada tahun 2000 di laboratorium Biokimia Universitas Gadjah Mada ini berdasarkan atas upaya untuk mengetahui lebih dalam tentang pola pewarisan aktivitas nitrat reduktase. Penelitian dilakukan pada tanaman padi, karena pada tanaman padi telah banyak dilakukan persilangan-persilangan, sehingga memudahkan dalam memperoleh beberapa kultivar yang masing-masing mewakili daya hasil berbeda. Kultivar padi yang digunakan adalah Jatiluhur, IR 64, Memberamo, dan Way Apoburu yang masing-masing mewakili potensi hasil 2,5 ton/hektar, 5 t/h, 6,9 t/h, dan 8 t/h (Arsal dkk, 2003).

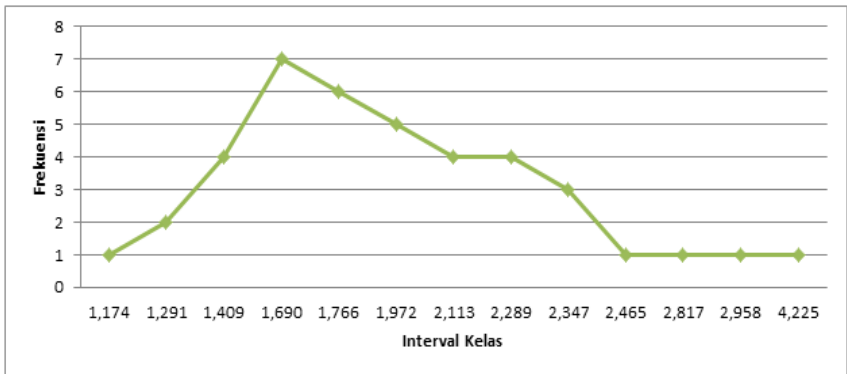
Penelitian tersebut menganalisis spektrum atau sebaran frekuensi ANR yang ditunjukkan oleh masing-masing kultivar padi yang berbeda dengan potensi hasil yang berbeda-beda. Sebagai ciri suatu sifat dipengaruhi oleh poligen, fenotipnya menunjukkan kelompok spektrum distribusi yang lebar dan memiliki Grafik yang berpuncak satu. Berikut Tabel interval kelas dan Grafik spektrum fenotip yang diwakili oleh Kultivar Jatiluhur, Tabel 3.2 dan pada Gambar 3.12.

Tabel 3. 2. Interval kelas Jatiluhur

Interval kelas	F
1,174	1
1,291	2
1,409	4
1,690	7
1,766	6
1,972	5
2,113	4
2,289	4
2,347	3

Interval kelas	F
2,465	1
2,817	1
2,958	1
4,225	1

Sumber: Arsal dkk, 2003



Gambar 3. 12. Grafik Spektrum fenotip jatiluhur daya hasil 2,5 ton/hektar

Sumber: Arsal dkk, 2003

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Quran Menghafal mudah Al-Hufas.
<https://tafsirweb.com/7992-quran-surat-yasin-ayat-36>.
Diakses pada tanggal 25 Mei 2024
- Arsal, Andi Faridah. Hartiko, Hari. Arisuryanti, Tuty. 2003. Sifat Kuantitatif Aktivitas Nitrat Reduktase Padi (*Oryza sativa* L.). TEKNOSAINS Seri A. Berkala Penelitian Pascasarjana Ilmu-ilmu Teknik dan Sains Universitas Gadjah Mada, Jilid 16A, Nomer1, 143-152.
- Arsal, Andi Faridah. 2012. Analisis Pedigree Cadel (Studi Kasus Beberapa Kabupaten di Sulawesi Selatan). Jurnal Sainsmat Vol. I, No. 2, September 2012, 156-166.
- Arsal, Andi Faridah. 2018. Genetika I (Arif Memahami Genetika). Penerbit UNM: Makassar.
- Arsal, Andi Faridah., Hartati., & Hiola, S. F. 2023. Need Assessment dalam Desain Pembelajaran Strategi Kelompok-Karyotip pada Mata Kuliah Genetika. Prosiding Seminar Nasional Dies Natalis UNM 62 (Vol. 1, pp. 147-151).
- Arsal, Andi Faridah., Hartati., & Hiola, S. F. 2023. Development of Karyotype-Cooperativ Learning Strategies in Genetics Courses. Proceedings of the International Confrence on Sciences, Technology and Education (ICSTE). Badan Penerbit UNM: Makassar.
- Arsal, Andi Faridah. 2023. Strategi Pembelajaran Kelompok Karyotip Mata Kuliah Genetika. Penerbit AGMA: Makassar.
- Hochachka & Somero. 1984. Biochemical Adaptation. Princeton University Press: New Jersey.
- Richards & Hawley, 2010. The Human Genome A User's Guide Second Edition. Elsevier Academic Press: Amstersdam.

Ridley, Matt. 2005. GENOME – The autobiography of a species in 23 chapters. Terjemahan Alex Tri Kantjono W. Jakarta: Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama.

Yuwono, T. 2008. Biologi Molekuler. Jakarta: Erlangga.

----- 2010. Susunan dan bagian-bagian kromosom. www.google.co.id/ wordpress.com. Diakses tanggal 12 April 2024.

----- DNA Helix.
<https://www.shutterstock.com/id/search/%22dna-helix%22>. Diakses tanggal 12 April 2024.

BAB 4

STRUKTUR DAN FUNGSI SEL, JARINGAN, ORGAN, SISTEM ORGAN PADA TUMBUHAN

Oleh Aidil Adhani

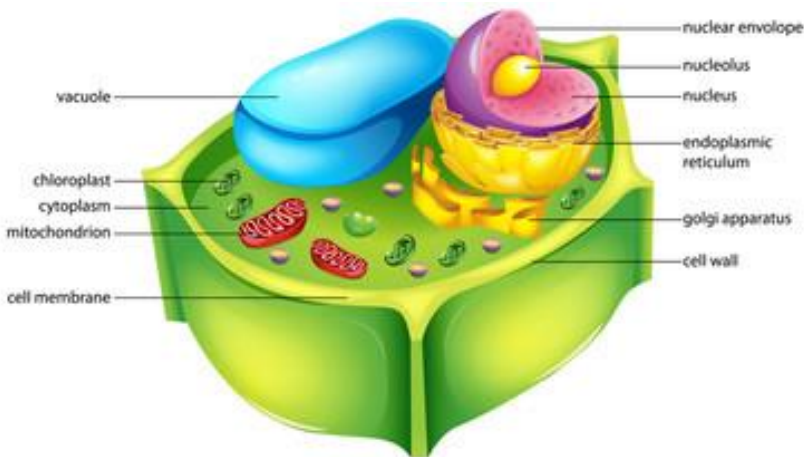
4.1 Pendahuluan

Tumbuhan, sebagai organisme autotrofik, memiliki struktur dan fungsi yang unik, dimulai dari level yang paling dasar hingga organisasi yang lebih kompleks. Pada level paling mendasar, tumbuhan terdiri dari unit-unit kehidupan terkecil yang disebut sel. Setiap sel memiliki peran penting dalam menjaga kelangsungan hidup tumbuhan dan menjalankan fungsi-fungsinya yang spesifik. Namun demikian, tumbuhan tidak terdiri dari sel-sel yang berdiri sendiri; mereka terorganisir menjadi jaringan-jaringan yang lebih besar yang bertanggung jawab atas berbagai fungsi dan proses penting. Jaringan-jaringan ini, pada gilirannya, membentuk organ-organ yang beragam, seperti daun, batang, dan akar, yang memungkinkan tumbuhan untuk bertahan hidup, tumbuh, dan bereproduksi. Sistem organ tumbuhan, yang terdiri dari berbagai organ yang bekerja sama, memungkinkan tumbuhan untuk berinteraksi dengan lingkungannya dan menyesuaikan diri dengan perubahan-perubahan yang terjadi. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang struktur dan fungsi sel, jaringan, organ, dan sistem organ pada tumbuhan merupakan langkah awal yang penting dalam memahami kehidupan dan proses metabolisme tumbuhan secara keseluruhan.

4.2 Struktur dan Fungsi Sel

Sel tumbuhan memiliki beberapa struktur khas, termasuk dinding sel yang terbuat dari selulosa yang memberikan dukungan mekanis dan perlindungan, kloroplas yang mengandung klorofil untuk fotosintesis, vakuola sentral yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan, inti sel yang mengandung materi genetik, dan sitoplasma yang mengandung organel-organel lainnya. Sel tumbuhan memiliki beragam fungsi, seperti melakukan fotosintesis untuk menghasilkan makanan, menyimpan cadangan makanan dan air, menyokong struktur tumbuhan, serta berpartisipasi dalam pertumbuhan dan reproduksi (Rahman, 2022).

Struktur dan fungsi sel tumbuhan sangat penting dalam menjelaskan cara tumbuhan berinteraksi dengan lingkungannya dan menjalankan proses vital seperti fotosintesis, respirasi, dan reproduksi. Berikut adalah penjelasan lebih detail tentang struktur dan fungsi sel tumbuhan.



Gambar 4. 1. Struktur Anatomi Sel Tumbuhan

(Sumber: <https://stock.adobe.com/id/search?k=plant+cell>)

4.2.1 Dinding Sel

Dinding sel tumbuhan merupakan struktur esensial yang memberikan dukungan, perlindungan, dan kontrol osmotik bagi sel-sel tumbuhan. Struktur ini terdiri dari tiga lapisan utama, yaitu lapisan primer, lapisan sekunder, dan lamella tengah (Sutrian, 2011). Lapisan primer, yang pertama kali terbentuk oleh sel-sel muda, terdiri dari selulosa, pektin, dan protein-protein yang membentuk matriks fleksibel. Lapisan sekunder, yang terbentuk saat dinding sel tumbuh dan matang, terdiri dari selulosa yang lebih padat dan serat-serat lignin yang memberikan kekuatan tambahan. Lamella tengah adalah struktur yang ditemukan di antara dinding sel dua sel tumbuhan yang berdekatan, terletak di antara lapisan primer dari dinding sel yang berdekatan dan memberikan dukungan dan kekuatan tambahan pada dinding sel. Lamella tengah terdiri dari pektin dan protein-protein khusus yang disebut proteoglikan (Srivastava et al., 2017). Fungsi dinding sel tumbuhan sangat beragam, termasuk dukungan struktural untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman, perlindungan terhadap kerusakan fisik dan infeksi, pertukaran gas dan air melalui pori-pori kecil, penyimpanan zat cadangan, regulasi tekanan osmotik, serta respons terhadap sinyal eksternal seperti gravitasi dan cahaya. Melalui fungsi-fungsinya yang penting ini, dinding sel tumbuhan memainkan peran kunci dalam kehidupan dan kelangsungan hidup tumbuhan tersebut.

4.2.2 Membran Sel

Membran sel tumbuhan adalah batas hidup yang esensial bagi setiap sel tumbuhan, berfungsi sebagai penghalang selektif yang mengatur pertukaran zat antara sel dan lingkungan eksternal. Membran sel tumbuhan terletak di sebelah dalam dinding sel. Ketika sel tumbuhan berkembang, membran sel terus mengikuti bentuk dan ukuran dinding sel. Terdiri dari lapisan ganda fosfolipid yang disebut lipid bilayer, membran ini

juga memuat protein-protein tersemat yang berperan dalam transportasi zat, transduksi sinyal, dan stabilitas struktural (Back, 2010). Selain itu, glikolipid dan glikoprotein pada membran memberikan pengenalan sel dan interaksi antar sel yang penting. Dengan kemampuan selektifnya, membran sel tumbuhan mengatur aliran zat-zat seperti air, ion, dan nutrisi melintasi membran, memungkinkan sel untuk mempertahankan kondisi internal yang optimal (Rahman, 2022). Tidak hanya berfungsi sebagai barier, membran sel juga memberikan struktur seluler yang penting, memisahkan organel-organel dan kompartemen dalam sel. Lebih jauh lagi, dalam reaksi imun dan pertahanan, membran sel tumbuhan juga dapat berperan dengan mengenali patogen atau molekul sinyal tertentu. Dengan demikian, membran sel tumbuhan bukan hanya sebagai pembatas fisik, tetapi juga sebagai mediator penting dalam berbagai proses seluler yang vital bagi kehidupan tumbuhan.

4.2.3 Sitoplasma

Sitoplasma merupakan bagian sel yang terletak di antara membran sel dan inti sel, yang terdiri dari berbagai struktur dan zat-zat yang berperan dalam berbagai proses seluler. Struktur sitoplasma terdiri dari sitosol, organel-organel seperti kloroplas, mitokondria, retikulum endoplasma, ribosom, badan Golgi, vakuola, dan berbagai inklusi sitoplasma (Mulyani, 2019). Sitosol, cairan gelatin yang mengisi ruang intraselular, adalah medium tempat berlangsungnya reaksi kimia seluler. Organel-organel seperti kloroplas dan mitokondria berperan dalam fotosintesis dan respirasi seluler secara berturut-turut, menyediakan energi yang diperlukan untuk fungsi-fungsi sel. Ribosom berfungsi dalam sintesis protein, sedangkan retikulum endoplasma berperan dalam produksi protein dan lipid serta transportasi dalam sel. Badan Golgi, atau kompleks Golgi, adalah organel yang berperan dalam modifikasi, penyimpanan, dan pengiriman protein serta lipid ke tempat-tempat yang dituju dalam atau di luar sel. Vakuola, terutama yang besar dalam sel

tumbuhan, menyimpan air, garam, pigmen, serta zat-zat sisa. Inklusi sitoplasma, seperti kristal dan butiran amilum, memiliki fungsi penyimpanan (Sutrian, 2011). Secara keseluruhan, sitoplasma merupakan medium yang penting bagi berbagai proses metabolik dan fungsi seluler dalam sel tumbuhan, mendukung kehidupan dan pertumbuhan tanaman.

4.2.4 Inti Sel (Nukleus)

Inti sel atau nukleus merupakan organel yang memiliki struktur dan fungsi yang krusial dalam sel tumbuhan. Inti sel dibatasi oleh membran inti yang terdiri dari lapisan ganda fosfolipid. Di dalam inti, terdapat nukleoplasma, cairan gelatin yang mengandung materi genetik utama, yaitu kromatin. Kromatin ini terdiri dari DNA yang memuat informasi genetik serta protein histon yang membungkus DNA menjadi struktur yang lebih teratur. Di dalam nukleoplasma juga terdapat nukleolus, yang berfungsi sebagai tempat pembentukan ribosom. Selain itu, inti sel dilengkapi dengan pori-pori inti yang memungkinkan transportasi molekul antara inti dan sitoplasma, seperti RNA dan protein. Fungsi inti sel sangat penting dalam mengatur ekspresi genetik, termasuk transkripsi DNA menjadi RNA dan regulasi berbagai proses seluler. Inti juga bertanggung jawab atas replikasi DNA yang diperlukan untuk pertumbuhan dan pembelahan sel. Dengan demikian, inti sel merupakan pusat kontrol genetik yang vital dalam sel tumbuhan, memastikan kelangsungan hidup dan fungsi normal sel secara keseluruhan (Jamiyansuren & Khurelbaatar, 2017; Sutrian, 2011).

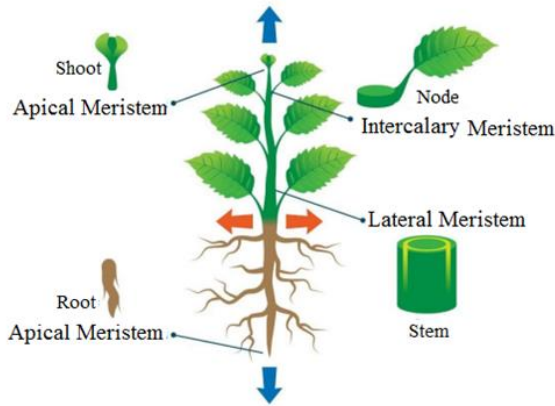
4.3 Struktur dan Fungsi Jaringan

Setelah memahami sel, pembahasan selanjutnya yaitu jaringan tumbuhan. Jaringan tumbuhan terdiri dari beberapa jenis, antara lain jaringan meristem, jaringan epidermis, jaringan dasar, dan jaringan pengangkut (floem dan xylem). Tiap jenis

jaringan memiliki peran yang spesifik dalam pertumbuhan, perkembangan, dan fungsi fisiologis tumbuhan.

4.3.1 Jaringan Meristem

Meristem adalah jaringan vital pada tumbuhan yang bertanggung jawab atas pertumbuhan dan perkembangan. Strukturnya terdiri dari sel-sel yang masih aktif secara mitosis dan belum mengalami diferensiasi sempurna, memungkinkan mereka untuk terus membelah dan membentuk jaringan baru (Hilty et al., 2021). Berdasarkan letaknya, meristem dapat dibedakan menjadi meristem primer, lateral, dan interkalar. Meristem apikal, terletak di ujung tunas dan akar, memfasilitasi pertumbuhan panjang dengan menghasilkan sel-sel baru. Di sisi lain, meristem lateral, hadir di sepanjang batang dan akar, bertanggung jawab atas pertumbuhan tebal dengan menambahkan lapisan-lapisan baru pada batang dan akar. Sementara itu, meristem interkalar terletak di antara jaringan yang sudah ada, seperti di ruas batang, membantu dalam perpanjangan bagian-bagian tumbuhan tertentu. Selain itu, meristem dapat dibagi berdasarkan asal pembentukannya menjadi primer dan sekunder. Meristem primer, berasal dari embrio tanaman, terletak di ujung tunas dan akar, sementara meristem sekunder atau kambium, berasal dari sel-sel yang sudah terdiferensiasi dan terletak di sepanjang batang dan akar (Hidayat, 1995). Melalui proses pembelahan sel yang berkelanjutan, meristem memungkinkan tanaman untuk terus tumbuh, berkembang, serta memperbaiki jaringan yang rusak, memainkan peran penting dalam siklus hidup dan kelangsungan hidup tumbuhan.



Gambar 4. 2. Jaringan meristem berdasarkan letaknya
(Sumber: <https://seven.edu.vn/meristematic-tissue-drawing-rqkg7i8u/>)

4.3.2 Jaringan Epidermis

Jaringan epidermis merupakan lapisan terluar dari tumbuhan yang menutupi permukaan batang, daun, dan bagian-bagian lainnya yang terpapar lingkungan luar. Secara struktural, epidermis terdiri dari sel-sel epidermis yang rapat dan tersusun rapat. Sel-sel ini umumnya tipis dan memiliki dinding sel yang kuat, yang membantu memberikan perlindungan dan dukungan struktural bagi tanaman (Muttaqin, 2023). Epidermis memiliki struktur tambahan yang disebut derivat. Derivat epidermis ini terdiri dari berbagai macam struktur, termasuk stomata, trikoma (rambut-rambut), hidatoda, kutikula, rambut akar, velamen, sel silica, dan sel buliform (Sutrian, 2011; Mulyani, 2019). Masing-masing derivat ini memiliki fungsi khusus yang mendukung fungsi umum epidermis.

Fungsi utama jaringan epidermis adalah sebagai berikut:

1. **Perlindungan:** Epidermis memberikan perlindungan terhadap kerusakan mekanis, serangan patogen, dan kehilangan air. Lapisan tipis sel-sel epidermis dapat membentuk penghalang fisik yang menghalangi penetrasi

mikroorganisme dan benda-benda berbahaya lainnya ke dalam jaringan tanaman.

2. **Regulasi Transpirasi:** Melalui stomata, yang terbuka dan menutup secara teratur, epidermis membantu mengatur proses transpirasi, yaitu pengeluaran air melalui penguapan dari permukaan daun. Hal ini penting untuk menjaga keseimbangan air dalam tumbuhan.
3. **Pertukaran Gas:** Stomata juga berperan dalam pertukaran gas, memungkinkan karbon dioksida masuk ke dalam tanaman untuk fotosintesis dan oksigen keluar dari tanaman sebagai produk sampingan respirasi.
4. **Penyerapan Cahaya:** Epidermis pada permukaan daun biasanya tidak terlalu tebal sehingga cahaya dapat menembusnya dengan mudah, mencapai kloroplas dalam sel-sel daun untuk proses fotosintesis.
5. **Pelekatan:** Epidermis pada akar membantu dalam pelekatan tanaman ke dalam tanah, memfasilitasi penyerapan air dan nutrisi dari lingkungan tanah.
6. **Sintesis Zat Tambahan:** Beberapa sel epidermis mungkin terlibat dalam produksi zat tambahan seperti pigmen atau senyawa-senyawa lain yang memberikan perlindungan tambahan atau berperan dalam interaksi dengan lingkungan.

4.3.3 Jaringan Dasar

Jaringan dasar (*ground tissue*) adalah salah satu dari tiga jenis jaringan utama dalam tumbuhan, yang terdiri dari parenkim, kolenkim, dan sklerenkim (Sutrian, 2011). Ketiga jenis jaringan ini memiliki struktur dan fungsi yang berbeda-beda yang berkontribusi pada kehidupan dan keberhasilan tumbuhan dalam beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya.

- a. **Parenkim.** Parenkim adalah jenis jaringan dasar yang paling umum dan beragam di dalam tumbuhan. Strukturnya terdiri dari sel-sel dengan dinding sel yang tipis dan berbentuk polygonal, dengan banyak ruang intercelular di antara sel-selnya. Sel-sel parenkim memiliki inti sel yang

besar dan sitoplasma yang aktif, serta seringkali mengandung kloroplas untuk melakukan fotosintesis. Fungsi utama parenkim adalah sebagai berikut:

1. **Fotosintesis:** Sel-sel parenkim yang mengandung kloroplas dapat melakukan fotosintesis, yaitu proses pembuatan makanan organik menggunakan energi cahaya.
 2. **Penyimpanan:** Parenkim sering berfungsi sebagai jaringan penyimpanan sementara untuk cadangan makanan, air, dan zat-zat lain yang penting bagi tanaman.
 3. **Pembentukan dan Penyembuhan Jaringan:** Sel-sel parenkim juga berperan dalam pembentukan jaringan baru dan proses penyembuhan luka pada tumbuhan.
- b. **Kolenkim.** Kolenkim adalah jenis jaringan dasar yang memiliki dinding sel yang lebih tebal daripada parenkim, tetapi masih elastis dan fleksibel. Struktur kolenkim umumnya terdiri dari sel-sel yang panjang dengan dinding sel yang tebal, terutama di bagian-sisi sel. Fungsi utama kolenkim adalah memberikan dukungan mekanis dan fleksibilitas tambahan pada tumbuhan, terutama pada bagian-bagian yang mengalami pertumbuhan aktif seperti tunas muda dan daun muda. Kolenkim juga dapat memberikan dukungan tambahan pada batang tumbuhan yang belum berkayu.
- c. **Sklerenkim.** Sklerenkim adalah jenis jaringan dasar yang memiliki dinding sel yang keras dan tebal karena mengandung lignin, sehingga sel-selnya mati ketika dewasa. Terdapat dua jenis utama sklerenkim, yaitu serat-serat sklerenkim dan sklerenkim bertetulang. Serat-sklerenkim terdiri dari serat-serat panjang yang tersusun rapat, sementara sklerenkim bertetulang memiliki sel-sel yang lebih pendek dengan dinding yang sangat tebal dan mengeras. Fungsi utama sklerenkim adalah memberikan dukungan mekanis yang kuat pada tumbuhan dewasa, terutama pada bagian-bagian yang mengalami tekanan atau

gesekan yang kuat, seperti batang dan bagian-bagian kulit yang keras.

4.3.4 Jaringan Pengangkut

Jaringan pengangkut, yang terdiri dari xilem dan floem, adalah dua komponen utama dalam sistem vaskular tumbuhan yang bertanggung jawab atas transportasi air, nutrisi, dan zat-zat penting lainnya ke seluruh bagian tumbuhan. Xilem merupakan jaringan pengangkut air dan mineral dari akar ke bagian atas tanaman. Strukturnya terdiri dari sel-sel mati yang berdinding tebal, disebut trakeid dan elemen pengangkut berpori, atau sering disebut pembuluh xilem. Trakeid adalah sel-sel panjang berdinding tebal yang membentuk saluran kontinu untuk mengalirkan air dan mineral dari akar ke bagian atas tanaman. Sementara itu, pembuluh xilem terdiri dari sel-sel pipa yang lebih besar dan lebih kompleks, seperti pembuluh berkas pada tanaman berbunga, yang mengangkut air lebih efisien. Fungsi xilem adalah mengangkut air dan mineral dari akar ke seluruh bagian tanaman, serta memberikan dukungan struktural karena dinding sel yang kuat (Rahman, 2022).

Di sisi lain, floem adalah jaringan pengangkut yang mengangkut makanan hasil fotosintesis dari daun dan bagian fotosintetik lainnya ke seluruh bagian tanaman. Strukturnya terdiri dari sel-sel hidup yang disebut sel-sel penghantar atau elemen pengangkut, yang membentuk tabung panjang yang disebut serat floem. Sel-sel penghantar mengandung sitoplasma dan memiliki ruang kosong yang disebut sitoplasma (Hilty et al., 2021). Nutrisi, seperti glukosa dan zat organik lainnya, diangkut melalui sitoplasma dari sel ke sel melalui proses translokasi. Fungsi floem adalah mengangkut makanan hasil fotosintesis dari tempat pembentukan, biasanya daun, ke tempat-tempat di mana makanan tersebut dibutuhkan untuk pertumbuhan, metabolisme, atau penyimpanan. Selain itu, floem juga berperan

dalam translokasi hormon dan sinyal kimia lainnya dalam tumbuhan (Mulyani, 2019).

4.4 Organ Tumbuhan

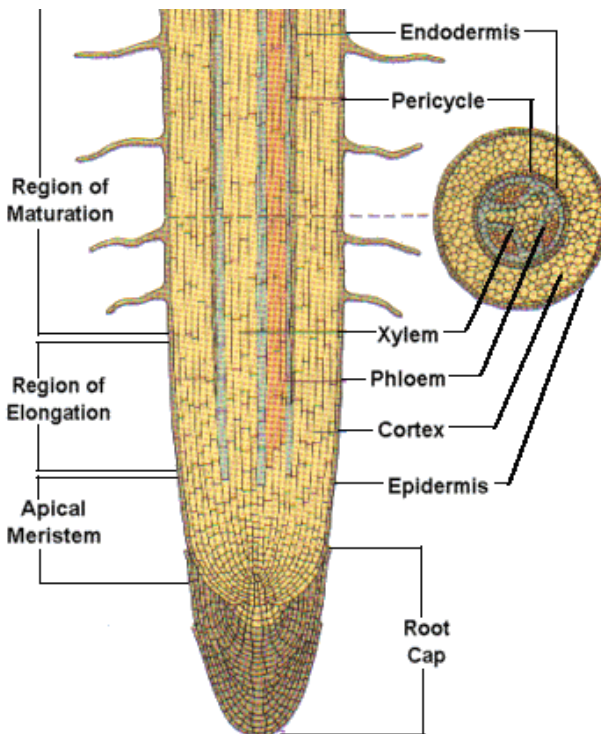
4.4.1 Akar

Akar merupakan salah satu organ utama pada tumbuhan yang memiliki peran vital dalam kehidupan dan pertumbuhan tanaman. Secara morfologis, akar biasanya terletak di bawah permukaan tanah dan terdiri dari beberapa bagian utama, termasuk akar primer dan akar sekunder. Akar primer merupakan akar pertama yang tumbuh dari embrio tanaman dan biasanya tumbuh ke arah bawah ke dalam tanah. Akar sekunder, di sisi lain, berkembang dari akar primer dan merupakan cabang-cabang tambahan yang memperluas sistem akar tanaman ke dalam tanah (Muttaqin, 2023).

Struktur akar secara anatomi terdiri dari berbagai jaringan yang berperan dalam fungsi dan proses kehidupan tanaman. Jaringan epidermis, yang merupakan lapisan luar akar, memiliki akar rambut yang berfungsi untuk menyerap air dan nutrisi dari tanah. Di bawah epidermis, terdapat korteks yang mengandung sel-sel parenkim yang berperan dalam penyimpanan cadangan makanan dan air. Di sebelah dalam korteks terdapat endodermis yang memiliki sel-sel yang disebut sel Casparian yang berfungsi untuk mengatur aliran air dan nutrisi ke dalam silinder vascular (Chochois et al., 2015). Selain itu, juga terdapat perisikel yang merupakan lapisan jaringan di sekitar akar yang bertanggung jawab untuk pembentukan akar samping atau tunas akar baru. Xilem dan floem, dua jenis jaringan pengangkut utama pada tumbuhan, juga ditemukan dalam akar (Mulyani, 2019). Xilem bertanggung jawab atas transportasi air dan mineral dari akar ke bagian atas tanaman, sedangkan floem mengangkut makanan hasil fotosintesis dari daun ke seluruh bagian tanaman. Kedua jaringan ini membentuk

sistem vaskular yang penting dalam menyediakan nutrisi bagi pertumbuhan dan metabolisme tanaman.

Selain berperan sebagai organ untuk penyerapan nutrisi dan air, akar juga memiliki peran dalam menjaga keseimbangan tanah dan membantu tanaman beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya. Misalnya, akar membantu dalam mencegah erosi tanah dengan menahan partikel-partikel tanah di tempatnya dan memperkuat struktur tanah dengan menembusnya. Selain itu, akar juga berkolaborasi dengan mikroorganisme tanah, seperti bakteri dan fungi, untuk meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman.



Gambar 4. 3. Struktur Anatomi Akar (dikotil)

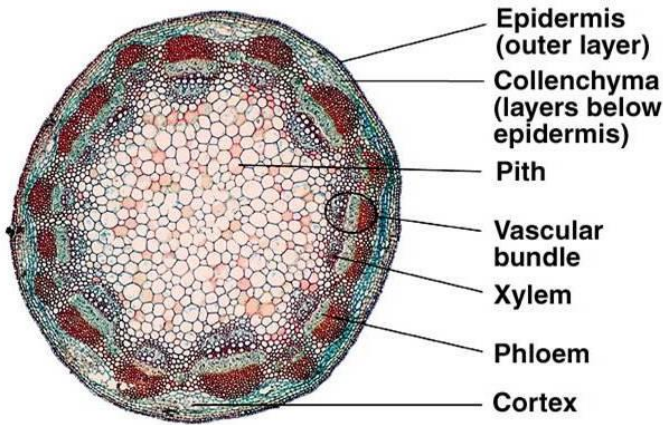
(Sumber: <https://www.askiitians.com/biology/morphology-of-flowering-plants/root.html#adventitious-root-system>)

4.4.2 Batang

Batang adalah organ tumbuhan yang mendukung pertumbuhan vertikal dan menghubungkan bagian atas tanaman dengan sistem akar di bawah tanah. Morfologinya mencakup beberapa bagian utama, seperti tunas, batang utama, dan cabang-cabang. Tunas adalah titik pertumbuhan aktif di ujung batang yang menghasilkan daun baru, bunga, dan cabang. Batang utama mendukung pertumbuhan vertikal tanaman, sementara cabang-cabangnya menciptakan struktur yang lebih kompleks.

Secara anatomi, batang memiliki struktur yang mirip dengan akar yaitu terdapat epidermis, korteks, kambium, xilem, dan floem. Epidermis merupakan lapisan luar yang melindungi batang, sedangkan korteks mengandung sel-sel parenkim yang menyimpan cadangan makanan dan air. Kambium, lapisan sel aktif, bertanggung jawab atas pertumbuhan dan pembelahan batang. Xilem membawa air dan mineral dari akar ke daun, sementara floem mengangkut makanan dari daun ke seluruh tanaman (Bria, 2018).

Selain berperan sebagai jalur transportasi, batang juga berfungsi sebagai tempat untuk fotosintesis. Daun di batang menggunakan cahaya matahari untuk menghasilkan makanan melalui proses fotosintesis, yang kemudian didistribusikan ke seluruh tanaman. Selain itu, batang juga dapat menyimpan cadangan makanan yang diperlukan untuk pertumbuhan baru dan masa tanam yang sulit (Čiamporová, 2002).



Gambar 4. 4. Struktur Anatomi Batang (dikotil)

(Sumber: <https://www.plantscience4u.com/2013/03/dicot-stem-anatomy.html>)

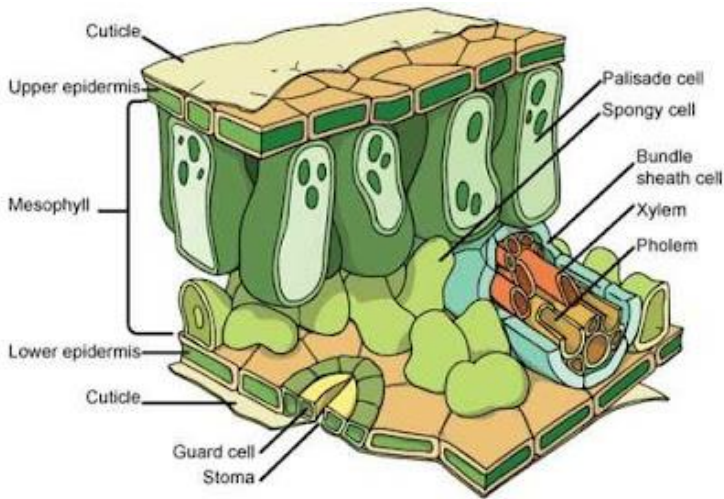
4.4.3 Daun

Daun adalah organ fotosintesis utama pada tumbuhan dan memiliki struktur morfologi dan anatomi yang kompleks yang mendukung fungsi utamanya. Secara morfologis, daun umumnya terdiri dari tiga bagian utama: pelepah, tangkai daun, dan daun sejati (Tjitrosupono, 2007). Pelepah adalah bagian yang melekat pada batang dan berperan sebagai penopang dan pelindung. Tangkai daun menghubungkan pelepah dengan daun sejati dan membawa daun ke posisi yang optimal untuk menangkap cahaya matahari. Daun sejati, bagian terbesar dari daun, memiliki struktur yang kompleks yang terdiri dari lapisan epidermis, jaringan fotosintesis seperti jaringan palisade dan jaringan spons, serta jaringan pengangkut seperti pembuluh xilem dan floem.

Anatomi daun memiliki struktur yang mengoptimalkan proses fotosintesis. Lapisan epidermis terdiri dari sel-sel yang rapat dan melindungi jaringan dalam daun. Di bawah lapisan epidermis, terdapat jaringan palisade yang terdiri dari sel-sel yang rapat dan membentuk lapisan atas yang kaya akan kloroplas (Hidayat, 1995). Jaringan palisade adalah lokasi utama untuk fotosintesis karena mengandung sebagian besar kloroplas dalam daun. Di bawah jaringan palisade, terdapat jaringan spons yang terdiri dari sel-sel yang lebih longgar dan berpori, memungkinkan pertukaran gas yang efisien (Sutrian, 2011). Jaringan spons juga berperan dalam menyimpan air dan nutrisi.

Selain struktur utama, daun juga memiliki stomata, yang merupakan pori-pori kecil yang terletak di epidermis bagian bawah daun. Stomata mengatur pertukaran gas dengan lingkungan luar, memungkinkan karbon dioksida masuk untuk fotosintesis dan oksigen serta uap air keluar (Jamiyansuren & Khurelbaatar, 2017). Selain itu, stomata juga dapat menutup untuk mencegah kehilangan air berlebihan saat kondisi lingkungan kering.

Fungsi utama daun adalah melakukan fotosintesis, yaitu proses di mana tanaman menggunakan energi cahaya matahari untuk mengubah air dan karbon dioksida menjadi glukosa dan oksigen. Proses ini adalah sumber energi utama bagi kehidupan tumbuhan dan banyak organisme lain di planet ini. Selain fotosintesis, daun juga berperan dalam transpirasi, yaitu proses penguapan air dari permukaan daun, yang membantu dalam perpindahan air dan nutrisi dari akar ke seluruh tanaman.



Gambar 4. 5. Struktur Anatomi Daun

(Sumber: <https://www.pusatbiologi.com/2013/03/struktur-anatomi-daun-dikotil-dan.html>)

4.5 Sistem Organ Tumbuhan

Tumbuhan memiliki dua sistem utama yang bertanggung jawab atas pertumbuhan dan fungsi utamanya, yaitu sistem akar (*root system*) dan sistem batang (*shoot system*). Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang keduanya.

4.5.1 Sistem Akar (*Root System*)

Sistem akar adalah bagian tumbuhan yang terletak di bawah tanah. Komponen utamanya adalah akar utama dan serabut akar. **Akar utama (*taproot*)** merupakan akar utama pertama yang tumbuh dari biji. Biasanya tumbuh secara vertikal ke dalam tanah dan menjadi poros utama sistem akar. Sedangkan **serabut akar (*fibrous roots*)** merupakan akar yang bercabang dari akar utama. Serabut akar menyebar secara horizontal di dalam tanah dan memiliki banyak akar cabang yang tipis. Fungsi sistem akar meliputi penyerapan air dan

mineral dari tanah, penyimpanan cadangan makanan dalam bentuk karbohidrat, dan memberikan stabilitas pada tumbuhan dengan menahan tanah (Matthew et al., 2001).

4.5.2 Sistem Batang (*Shoot System*)

Sistem batang adalah bagian tumbuhan yang terletak di atas tanah. Ini termasuk batang utama, cabang, daun, bunga, dan buah (jika ada). **Batang utama (*main stem*)** merupakan poros utama sistem batang, tumbuh ke atas dari biji dan mendukung daun, bunga, dan buah. Bagian lainnya yaitu **cabang (*branches*)**, merupakan tumbuhan cabang yang tumbuh dari batang utama. Cabang-cabang ini memperluas area fotosintesis dan juga bisa berfungsi sebagai tempat tumbuhnya bunga dan buah. Selanjutnya, **daun (*leaves*)** yang merupakan organ utama untuk fotosintesis. Mereka terhubung ke batang melalui bagian yang disebut tangkai daun dan memiliki struktur internal yang disebut jaringan daun yang kaya akan klorofil (Matthew et al., 2001). Fungsi sistem batang termasuk mendukung daun dan struktur reproduksi, menyediakan jalur transportasi untuk air, nutrisi, dan hasil fotosintesis antara akar dan daun, serta memungkinkan tumbuhan untuk berdiri tegak dan menyerap cahaya matahari dengan baik.

Kedua sistem ini saling terkait dan bekerja sama dalam menjaga keseimbangan dan kelangsungan hidup tumbuhan. Sistem akar menyediakan sumber air dan nutrisi yang diperlukan untuk proses fotosintesis yang terjadi di sistem batang. Sementara itu, sistem batang memungkinkan tumbuhan untuk melakukan fotosintesis dengan baik dan mendistribusikan hasilnya ke seluruh bagian tumbuhan (Razdan, 2003).

DAFTAR PUSTAKA

- Back, C.B., 2010. *An Introduction to Plant Structure and Development*, 2nd ed. New York: Cambridge University Press.
- Bria, E. J., 2018. Analisis Struktur Anatomi Batang Anyelir (*dianthus caryophyllus* L.) dan Kontribusinya terhadap Sistematis Ordo Caryophyllales. *Jurnal Saintek Lahan Kering*, 1(1), 8–9. <https://doi.org/10.32938/slk.v1i1.413>
- Čiamporová, M., 2002. Morphological and structural responses of plant roots to aluminium at organ, tissue, and cellular levels. *Biologia Plantarum*, 45(2), 161–171. <https://doi.org/10.1023/a:1015159601881>
- Chochois, V., Vogel, J. P., Rebetzke, G. J., & Watt, M. (2015). Variation in adult plant phenotypes and partitioning among seed and stem-borne roots across *brachypodium distachyon* accessions to exploit in breeding cereals for well-watered and drought environments. *Plant Physiology*, 168(3), 953–967. <https://doi.org/10.1104/pp.15.00095>
- Hidayat, E., B., 1995. *Anatomi Tumbuhan Berbiji*. Bandung: ITB Press.
- Hilty, J., Muller, B., Pantin, F., & Leuzinger, S., 2021. Plant growth: The what, the how, and the why. *New Phytologist*, 232(1), 25–41. <https://doi.org/10.1111/nph.17610>
- Jamiyansuren, J., & Khurelbaatar, T., 2017. Molecular biology of the cell, Sixth edition. *Central Asian Journal of Medical Sciences*, 3(2), 195–197. <https://doi.org/10.24079/cajms.2017.06.014>
- Matthew .C., Van Loo EN, Thom ER, Dawson L., 2001. Understanding shoot and root development. Proc XIX IntGrassland Congr 19–26.
- Mulyani, S., 2019. *Anatomi Tumbuhan. Edisi Revisi*. Yogyakarta: PT Kanisius.
- Muttaqin, S., Z., 2023. *Anatomi Tumbuhan (Sel, Jaringan, dan Organ Vegetatif Tumbuhan)*. Jakarta: UKI Press.
- Rahman, F., A., 2022. *Buku Ajar Anatomi Tumbuhan*. Nusa Tenggara Barat: Alfa Press.

- Razdan, M. K., 2003. *Introduction to plant tissue culture*. Science Publishers.
- Srivastava, V., McKee, L. S., & Bulone, V., 2017. Plant Cell Walls. *Encyclopedia of Life Sciences*, 1–17. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0001682.pub3>
- Sutrian, Y., 2011. *Pengantar Anatomi Tumbuh-Tumbuhan (Tentang Sel dan Jaringan)*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Tjitrosupono, G., 2007. *Morfologi Tumbuhan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

BAB 5

STRUKTUR DAN FUNGSI SEL, JARINGAN, ORGAN, SISTEM ORGAN PADA HEWAN

Oleh Iriani Setyawati

5.1 Pendahuluan

Hewan adalah organisme multiseluler dengan kumpulan sel spesifik yang dikelompokkan menjadi suatu jaringan. Kehidupan dicirikan oleh peringkat organisasi yang hierarkis, dengan karakteristik masing-masing. Gabungan bermacam-macam jaringan akan menjadi unit fungsional disebut organ, dan kelompok organ bersama-sama bekerja sebagai sistem organ. Sebagai contoh, kulit merupakan organ sistem integumen yang melindungi terhadap infeksi dan membantu mengatur suhu tubuh. Organ mungkin mengandung jaringan yang memiliki peran fisiologis berbeda. Organ misalnya pankreas dimiliki oleh lebih dari satu sistem organ yaitu pencernaan dan hormonal (Urry *et al.*, 2021).

5.2 Jaringan Dasar Hewan

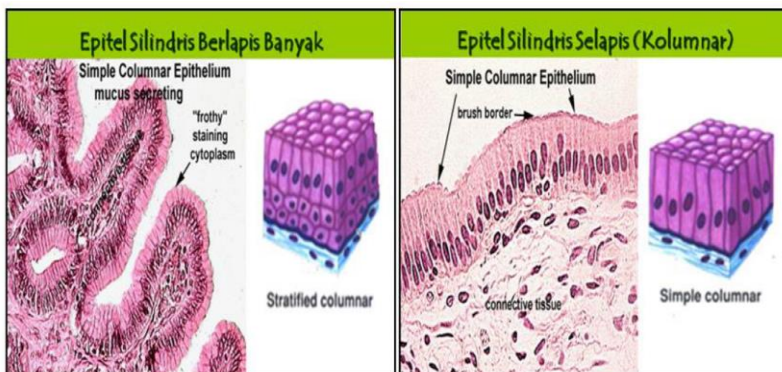
Jaringan merupakan kelompokan sel yang memiliki struktur serta fungsi sama. Jaringan menyatu melalui matriks ekstraseluler perekat yang menutupi sel serta mengikatnya dalam jaringan ikat. Jaringan dikategorikan menjadi 4 yaitu

jaringan epitel, jaringan ikat, jaringan otot, dan jaringan saraf (Urry *et al.*, 2021).

5.2.1 Jaringan epitel

Jaringan epitel memiliki sel-sel dengan hubungan erat satu dengan lainnya, memproteksi permukaan luar tubuh atau melapisi organ atau rongga dalam tubuh. Pada kebanyakan epitel, sel-sel menyatu melalui sambungan yang ketat. Jaringan epitel berfungsi memproteksi sel dari gangguan mekanik, infeksi mikroba/patogen penyusup, serta hilangnya cairan (Urry *et al.*, 2021).

Bentuk sel epitel pada permukaan yang terbuka dapat berbentuk kuboid (kubus), kolumnar (batang), skuamosa (pipih seperti ubin). Jaringan epitel diklasifikasikan berdasarkan bentuk sel serta jumlah lapisan selnya. Epitel selapis (*simple*) memiliki satu lapisan sel, dan epitel berlapis mempunyai banyak lapisan sel. Epitel pseudokompleks memiliki satu lapisan tetapi tampak berlapis banyak karena tinggi selnya bervariasi (Urry *et al.*, 2021).



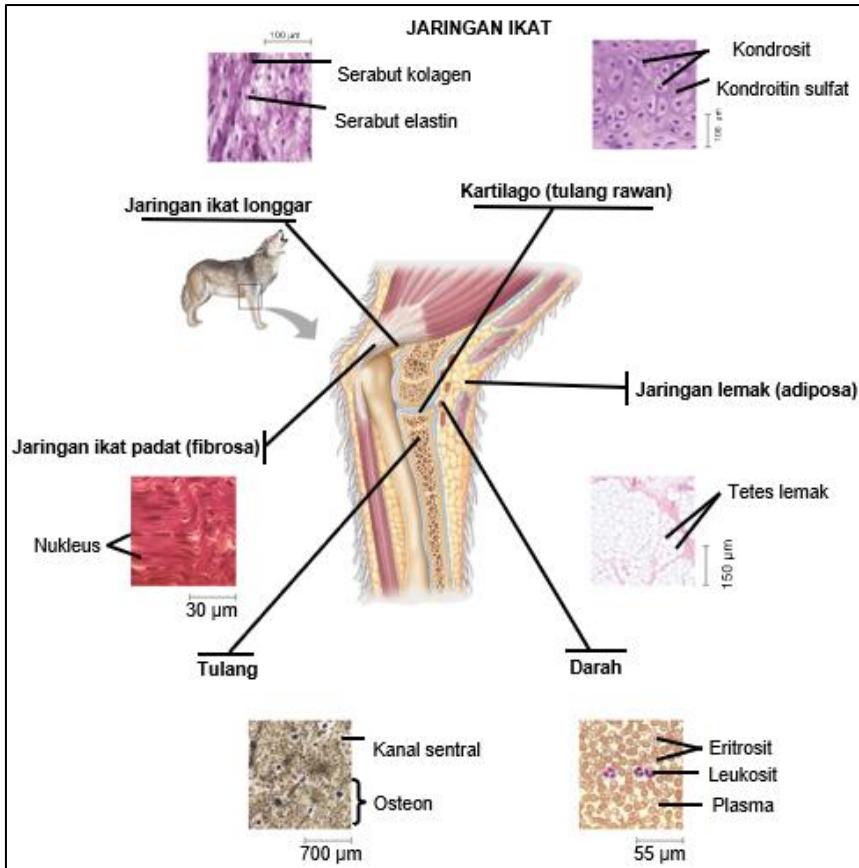
Gambar 5. 1. Struktur jaringan epitel

(Urry *et al.*, 2021).

Jenis jaringan epitel antara lain a) epitel pipih selapis, terdapat pada pleura, pericardium, peritoneum, dinding pembuluh darah dan getah bening (limfe), kapsul bowman; b) epitel kubus selapis, ditemukan pada kelenjar tiroid, kelenjar keringat, nefron; c) epitel silindris selapis, dijumpai pada dinding usus; d) epitel pipih berlapis, melapisi rongga mulut, rongga hidung, telapak tangan, telapak kaki; f) epitel silindris berlapis, terdapat pada faring; g) epitel transisional, merupakan bentuk peralihan dari epitel kubus berlapis menjadi epitel pipih berlapis, terdapat pada dinding kandung kemih; h) epitel silindris berlapis semu, terdapat pada permukaan kulit, rongga tekak, trakea, dan dinding lambung; i) epitel bersilia, sel-sel epitelnya memiliki silia dan menghasilkan mukus/lendir (Swetha, 2016).

5.2.2 Jaringan ikat

Jaringan ikat terutama berfungsi mendukung serta mengikat jaringan lain, dengan kelompokan sel yang jarang, menyebar dalam matriks ekstraseluler berisi anyaman serabut.



Gambar 5. 2. Jenis-jenis jaringan ikat

(Urry *et al.*, 2021)

Serabut jaringan ikat terdiri atas 1) serabut kolagen, terdiri atas kolagen, tidak gampang robek, kaku/kurang elastis, jika ditarik akan mengikuti panjangnya; 2) serabut elastis, terbuat dari protein elastin, lentur serupa karet; 3) serabut retikuler, tipis sekali, bercabang, tersambung dengan serabut kolagen. Jaringan ikat terbagi atas (Swetha, 2016):

1. Jaringan ikat yang sebenarnya

a. Jaringan Ikat Longgar (*loose connective tissue*)

Jaringan mengikat epitel dengan jaringan lain di bawahnya, sebagai bahan pengemas, mempertahankan organ menetap pada lokasinya, memiliki ketiga macam serabut. Jaringan memiliki sel-sel fibroblas yang mensekresi protein prekolagen; juga makrofag yaitu sel-sel amoeboid pada jaringan ikat yang memfagosit bakteri dan debris (serpihan sel yang rusak/ mati).

b. Jaringan Ikat Padat (*fibrous connective tissue*)

Jaringan padat, serabut-serabutnya tersusun dalam berkas paralel. Misalnya pada jaringan yang mengikat otot ke tulang yang disebut tendon, pengikat antartulang di persendian yang disebut *ligament*.

2. Jaringan ikat khusus

a. Jaringan Adiposa (*adipose tissue*)

Jaringan berfungsi mendeposit lemak di dalam sel lemak/adiposa yang menyebar dalam matriks, menginsulasi serta melapisi tubuh, mendeposit molekul bahan bakar, mengandung butir-butir lemak yang membesar saat tubuh menggunakan sebagai bahan bakar.

b. Jaringan Tulang Rawan/ Kartilago (*cartilage*)

Jaringan memiliki serabut kolagen berlimpah tertanam di dalam matriks mirip karet dari zat kondroitin sulfat, yang diproduksi oleh kondrosit, sel-sel yang ditemukan di dalam ruang disebut lakuna yang menyebar dalam matriks. Ini menjadikan tulang rawan pendukung yang fleksibel namun kuat. Kartilago terdapat di telinga, hidung, lempeng bantalan antar ruas-ruas tulang belakang, dan trakea.

c. Jaringan Tulang Sejati (*bone*)

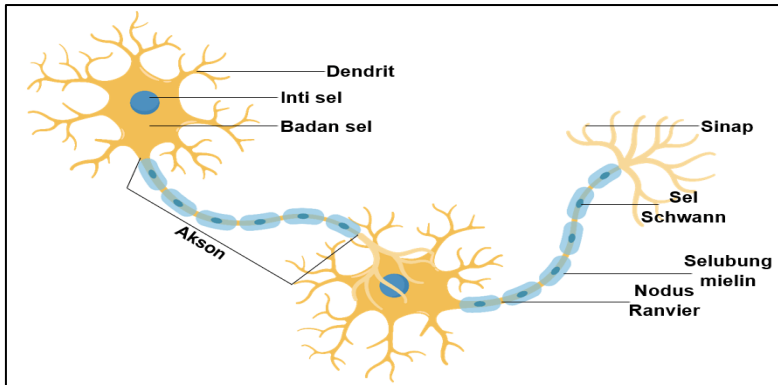
Jaringan ikat mengandung mineral, memiliki osteoblas (sel tulang kompak/sejati) yang mendepositkan matriks berkolagen. Adanya mineral yang keras dengan fleksibilitas kolagen ini menjadikan lebih kerasnya struktur namun tidak rapuh dari tulang sejati dibandingkan kartilago/ tulang rawan. Histologi tulang sejati berupa sistem Haversi. Begitu sel osteoblas terperangkap dalam matriks hasil sekret sendiri, disebut osteosit. Sel osteosit ini berlokasi dalam lakuna, ruang yang dikelilingi matriks keras.

d. Jaringan Darah (*blood*)

Jaringan ikat khusus berbentuk cair (*liquid*) yang memiliki matriks ekstraselular luas. Matriks merupakan *liquid*/ cairan atau plasma darah yang mengandung air, beberapa protein terlarut serta garam. Di dalam plasma ditemukan sel-sel darah yaitu sel darah merah/ eritrosit yang berfungsi membawa O₂; sel darah putih/leukosit sebagai sel imunitas tubuh melawan patogen (bakteri, virus); juga keping darah yang berperan dalam penggumpalan darah (Swetha, 2016).

5.2.3 Jaringan saraf

Jaringan saraf menerima stimulus kemudian menghantarkan impuls antar bagian di tubuh. Unit fungsional jaringan ini yaitu neuron (sel saraf) dengan juluran disebut akson yang mentransmisikan impuls saraf. Jaringan saraf juga meliputi sel glial yang menutrisi, isolasi, dan mengisi kembali neuron. Pada banyak hewan, jaringan saraf terkonsentrasi di otak sebagai pusat pemrosesan informasi (Urry *et al.*, 2021). Neuron tersusun atas dendrit yang mentransmisikan impuls dari ujung ke bagian lain neuron; akson yang mentransmisikan impuls ke efektor atau neuron lainnya; dan badan sel dengan nukleus, sel Schwann, nodus Ranvier, dan selubung myelin.



Gambar 5. 3. Struktur jaringan saraf (neuron)

(<https://roboguru.ruangguru.com/>)

5.2.4 Jaringan otot

Jaringan otot tersusun dari serabut otot dari sel-sel panjang yang mampu berkontraksi saat distimulasi impuls saraf. Dengan susunan paralel dalam sitoplasma, serabut-serabut otot berupa beberapa mikrofiliamen myosin dan aktin kontraktile dari protein. Jaringan otot terbagi atas (Swetha, 2016):

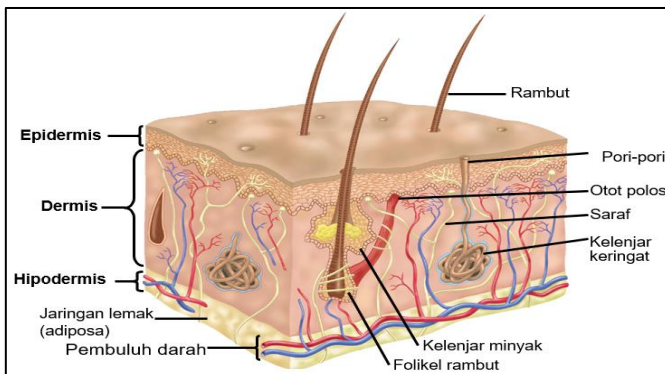
1. Otot rangka, juga disebut otot lurik (*striated muscle*) akibat struktur tumpang tindih hingga tampak lurik/bergaris. Otot rangka melekat ke tulang melalui tendon, berperan dalam gerakan secara sadar pada tubuh.
2. Otot polos (*smooth muscle*), ditemukan di dinding saluran cerna, arteri, vesika urinaria, serta organ internal lain. Sel-sel berbentuk gelendong, kontraksi lebih lambat namun lebih lama. Otot bertanggungjawab atas aktivitas tubuh tidak sadar, misalnya gerakan lambung atau penyempitan arteri.
3. Otot jantung (*cardiac muscle*), menyusun dinding kontraktile jantung, tampak lurik tetapi bercabang. Ujung sel-selnya terhubung melalui diskus interkalaris, mentransmisikan signal dari sel ke sel dalam sekali denyut jantung.

5.3 Organ dan Sistem Organ pada Hewan

Berbagai jenis jaringan akan membentuk suatu organ yang fungsional. Beberapa organ bekerja sama menyusun suatu sistem organ. Berbagai sistem organ bekerja sama menjalankan fungsi tertentu untuk mempertahankan kehidupan organisme. Setiap sistem organ memiliki komposisi organ sendiri, dengan jaringan spesifik hanya untuk organ-organ tersebut, atau digunakan bersama di antara organ yang berbeda (Anonim, 2022).

5.3.1 Sistem Integumen

Sistem integumen merupakan contoh sistem organ terluas, tersusun atas kulit dengan derivat-derivatnya yaitu rambut, kuku, kelenjar (sudorifera/keringat dan sebaceus/minyak). Kulit mempunyai tiga lapisan (dari luar ke dalam) yaitu epidermis, dermis, dan sub kutan/ hipodermis.



Gambar 5. 4. Struktur anatomi kulit mamalia (manusia)

(Urry *et al.*, 2021)

5.3.2 Sistem Otot

Sistem otot menunjang tubuh dapat melakukan gerakan dengan baik, menghasilkan kekuatan dan memberikan bentuk organisme. Otot rangka terutama mengontrol gerakan dan

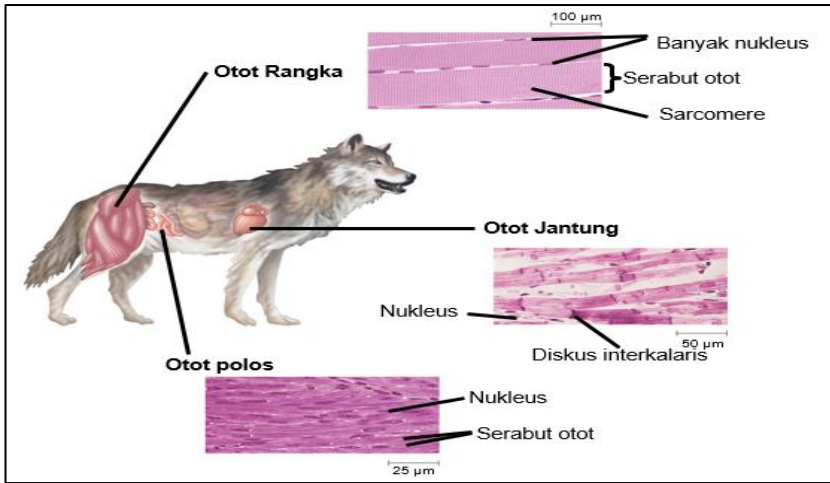
postur tubuh. Otot jantung meliputi jantung yang menjaga hewan tetap hidup. Otot polos terdapat di seluruh sistem pencernaan, reproduksi, saluran kemih, pembuluh darah, dan respirasi (Noto *et al.*, 2023).

1. Otot Rangka

Otot rangka/lurik/skelet memiliki banyak inti di bagian tepi. Serabut-serabutnya digabungkan menjadi gelendong, membuat otot rangka tampak lurik. Serabut otot terdiri atas protein aktin dan miosin yang ditutupi membran sel (sarkolema), merupakan unit fungsional yang menyebabkan kontraksi dan relaksasi (Frontera & Ochala, 2015). Konstraksi otot rangka cepat dan kuat namun mudah kelelahan dan dikendalikan kesadaran, maka disebut otot sadar. Semua tulang penyusun rangka ditutupi otot rangka. Bagian otot rangka yang melekat ke tulang dikenal sebagai tendon. Apabila berlekatan dengan tulang tidak bergerak adalah origo, bila dengan tulang yang dapat digerakkan adalah insersio (Nurdiyanti, 2021).

2. Otot Polos

Sel otot polos bentuk gelendong, meruncing di kedua ujung, bagian tengah agak membesar dengan sebuah inti di tengah. Konstraksinya lambat di luar kesadaran, sehingga dimasukkan kelompok otot tidak sadar. Otot polos tetap dapat melakukan fungsi sekalipun hewan tidur (Nurdiyanti, 2021). Sel otot polos terdiri atas serabut aktin dan miosin tersusun lembaran (bukan berkas) sehingga otot tampak halus. Otot polos ditemukan di dinding paru-paru, saluran cerna, organ reproduksi, pembuluh darah, juga kulit (Webb, 2003).



Gambar 5. 5. Jenis-jenis jaringan otot

(Urry *et al.*, 2021)

3. Otot Jantung

Sel otot jantung mempunyai inti 1-2 buah di tengah, terdapat garis-garis khusus disebut diskus interkalar tempat perlekatan sel-sel otot jantung. Konstraksinya berirama di luar kendali kesadaran, reaksi lamban, tahan lelah. Otot ini hanya berlokasi pada organ jantung (Nurdiyanti, 2021). Miokardium (otot jantung) adalah otot lurik tak sadar yang membungkus ruang jantung, terdiri atas kardiomiosit dengan struktur mirip otot rangka. Setiap kardiomiosit mengandung elemen sitoskeletal dan kontraktile, yang semuanya terhubung melalui diskus interkalar, membentuk kompleks yang sangat melekat. Ini menyebabkan sel otot jantung cepat menerima transmisi listrik dan berkontraksi sebagai satu kesatuan. Otot jantung juga mengandung sel-sel pacu jantung (*pacemaker*) terspesialisasi, terletak di nodus sinoatrial (SA), yang bertanggung jawab menciptakan kontraksi otot jantung (Noto *et al.*, 2023).

5.3.3 Sistem Rangka

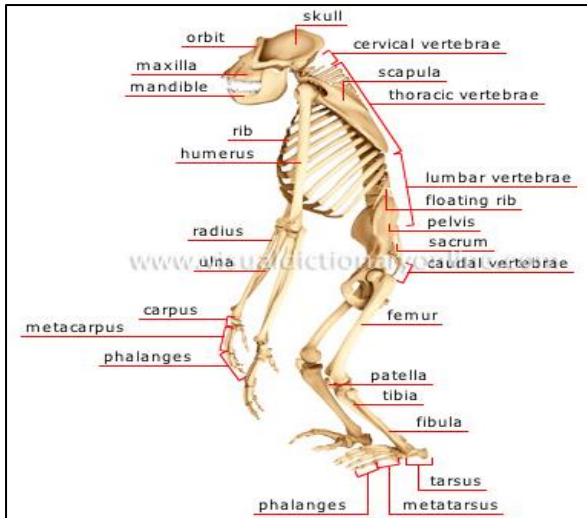
Sistem rangka terdiri atas tulang keras, kartilago, ligamen, dan jaringan lain. Pembagiannya berdasar bentuk (tulang panjang, pipih, pipa, dan tulang tidak beraturan) dan penyusunnya (tulang spons, tulang kompak). Sistem rangka terbagi atas kerangka aksial dan apendikular, berfungsi perlindungan, pergerakan, dan penyokong tubuh yang komprehensif (Urry *et al.*, 2021).

1. Kerangka Aksial

Kerangka aksial membentuk poros tengah tubuh, tersusun dari 80 tulang yaitu kranium/tengkorak, tulang rusuk, tulang belakang. Bagian ini mendukung dan melindungi otak, sumsum tulang belakang, organ vital; dan tempat melekat kerangka apendikular (Nurdiyanti, 2021).

2. Kerangka Apendikular

Kerangka apendikular mencakup tulang-tulang ekstremitas (anggota gerak) atas dan bawah, serta gelang bahu dan panggul, yang menghubungkannya ke kerangka aksial. Bagian ini penting untuk mobilitas dan interaksi dengan lingkungan sekitar, memungkinkan berbagai macam gerakan (Anonim, 2023).



Gambar 5. 6. Sistem rangka primata

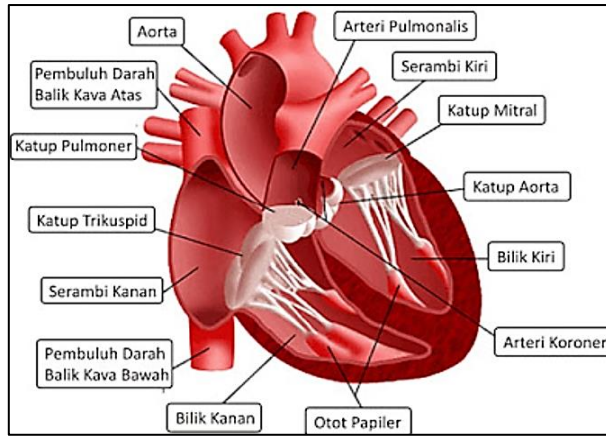
(https://www.visualdictionaryonline.com/animal-kingdom/primate-mammals/gorilla/skeleton-gorilla.php#google_vignette)

5.3.4 Sistem Sirkulasi

Sistem sirkulasi darah mendistribusikan O_2 , CO_2 , nutrisi, hormon, limbah di tubuh, dan menjaga homeostatis dalam tubuh. Jantung sebagai organ vital berfungsi memompa darah ke seluruh tubuh. Pembuluh darah mendistribusikan darah ke dan dari jantung. Darah mengandung O_2 dan nutrisi yang didistribusikan ke seluruh sel-sel.

1. Jantung

Jantung terletak di tengah dada di dalam rongga toraks. Jantung ikan terdiri atas 2 ruang, amfibi 3 ruang; 4 ruang pada reptil, aves dan mamalia. Jantung dilindungi perikardium, kantung berlapis ganda berisi cairan yaitu perikardium fibrosa/parietal di luar, perikardium serosa/visceral di bagian dalam (Arackal & Alsayouri, 2023).



Gambar 5. 7. Struktur anatomi jantung mamalia

(Nurdiyanti, 2021)

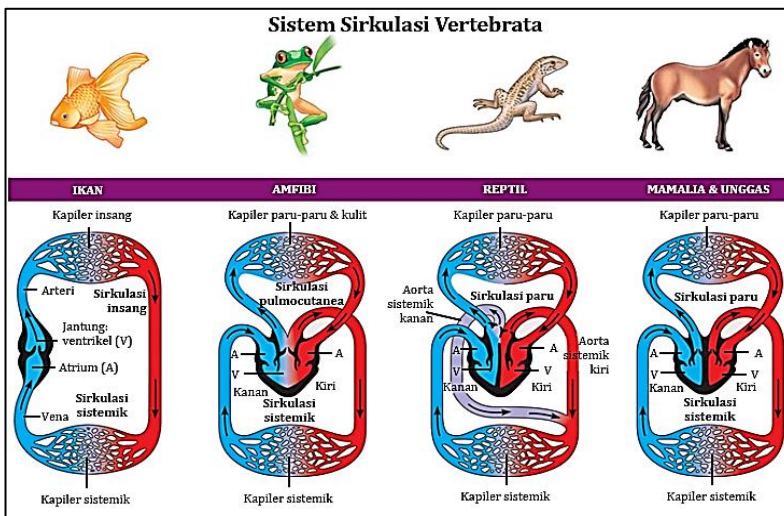
Dinding jantung terbagi atas tiga lapisan:

- a. Epikardium (perikardium visceral), mendasari jaringan ikat fibro-elastis dan jaringan adiposa. Arteri dan vena koroner, pembuluh limfatik, dan saraf berjalan di bawah epikardium.
- b. Endokardium, terdiri atas endotel (epitel pipih selapis) dan jaringan ikat subendotel. Subendokardium terletak di antara endokardium dan miokardium, dan berisi sistem penghantar impuls (Arackal & Alsayouri, 2023).
- c. Miokardium, lapisan tengah, paling tebal, berupa otot-otot jantung. Otot jantung berupa sel-sel kardiomiosit, struktur dan sifatnya unik terkait fungsi kontraktile (Ge *et al.*, 2019).

Klep (*valve*) jantung adalah pintu keluar dan mencegah arus balik darah ke ruang jantung, terdiri atas a) klep aorta, antara aorta dan ventrikel kiri; b) klep pulmonal/semilunar, antara arteri pulmonalis dan ventrikel kanan. Dua klep atrioventrikular (AV) yaitu klep trikuspidis pemisah ventrikel kanan dengan atrium kanan, serta klep mitralis/bikuspid pemisah ventrikel dari kiri atrium kiri (Arackal & Alsayouri, 2023).

2. Pembuluh Darah

Pembuluh darah dibagi menjadi arteri, vena, kapiler, yang struktur serta ketebalan dinding berbeda namun semua memiliki lumen (rongga) tengah. Darah bersirkulasi di pembuluh darah arteri, arteriol, hingga kapiler. Kapiler adalah tempat terjadinya pertukaran O_2 , nutrisi, dan zat lain. Darah kemudian dikembalikan ke jantung dari venula pasca kapiler ke vena yang berturut-turut membesar dan bermuara di jantung (Munjali & Bordoni, 2023).



Gambar 5. 8. Sistem sirkulasi darah hewan vertebrata

(Urry *et al.*, 2021)

Selain kapiler, dinding pembuluh tersusun atas lapisan 1) tunika intima, lapis terdalam dari endotel (jaringan epitel pipih selapis) yang menyediakan jalur tanpa gesekan aliran darah; 2) tunika media, lapisan tengah berupa jaringan elastis dan otot polos yang mengatur diameter internal pembuluh darah; 3) tunika adventitia, lapisan luar yang mendukung bentuk pembuluh darah. Dalam tiap lapisan, jumlah fibril otot dan kolagen bervariasi,

tergantungan ukuran dan lokasi pembuluh darah (Tucker *et al.*, 2023).

5.3.5 Sistem Pencernaan

Proses pencernaan meliputi pencernaan mekanik oleh gigi dan lidah, serta pencernaan kimiawi dengan enzim di mulut, lambung, dan usus. Sistem pencernaan meliputi saluran yaitu rongga bukal/mulut, esofagus, lambung, usus (halus dan besar), dan lubang anus; serta kelenjar pencernaan yang mencakup ludah, pankreas, dan hati (Nurdiyanti, 2021).

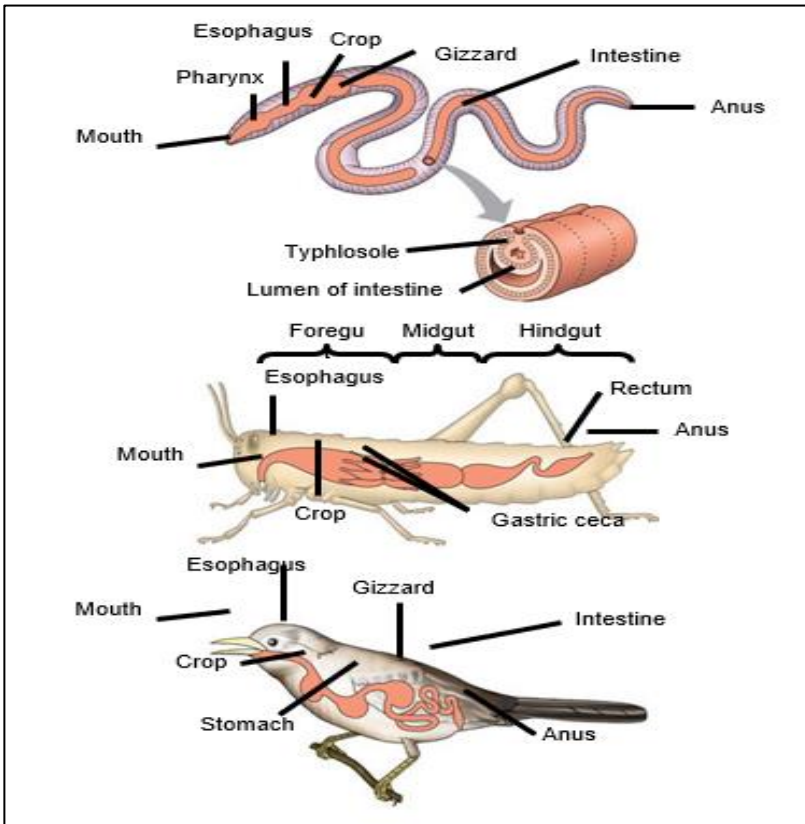
1. Mulut

Pipi, lidah, langit-langit membentuk rongga mulut (bukal) dengan gigi, lidah, dan enzim ptialin yang membantu pencernaan.

2. Esofagus (Kerongkongan)

Berupa saluran tipis panjang sebagai jalan bolus (makanan setelah dikunyah) dari mulut ke lambung. Dinding esofagus seperti lambung dan usus, tersusun atas empat lapisan (dari luar ke dalam):

- a. Serosa: lapisan terluar berupa jaringan ikat, rongga-rongga kecil tempat keluar cairan pelumas gerakan otot, serta terdapat pembuluh darah, limfe dan saraf.
- b. Muskularis: otot polos dengan serabut otot yang memanjang (longitudinal) dan melingkar (sirkuler), yang berkontraksi menjadi gerakan peristaltik untuk mendorong makanan.
- c. Submukosa: jaringan pengikat longgar dengan pembuluh saraf, pembuluh darah, pembuluh limfe, kelenjar mukus.
- d. Mukosa: disusun oleh sel epitel pipih berlapis banyak, jaringan ikat yang tipis, memiliki sel-sel gada/goblet menghasilkan mukus. Saluran ini kurang tahan pada keasaman lambung sehingga terasa terbakar jika getah lambung mengalir naik ke esofagus (Nurdiyanti, 2021).



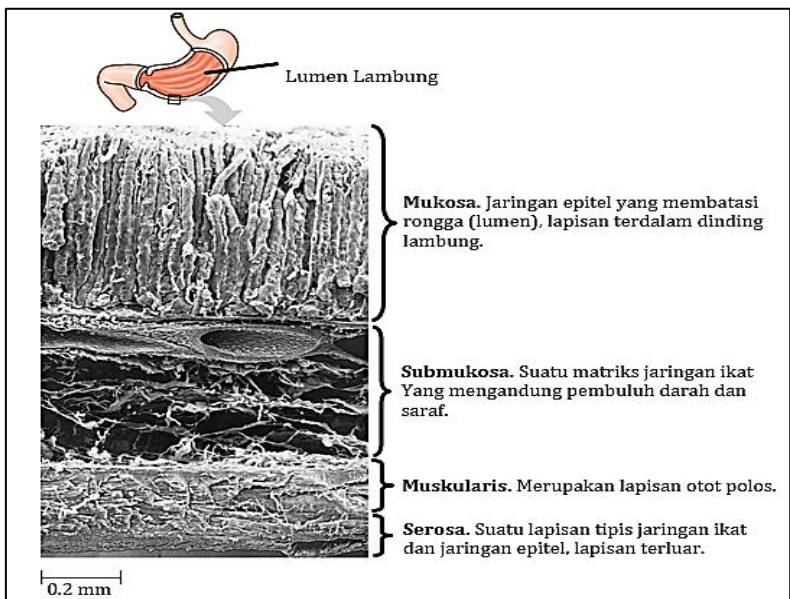
Gambar 5. 9. Sistem pencernaan hewan

(Urry *et al.*, 2021)

3. Lambung (ventrikulus)

Lambung merupakan organ menyerupai huruf J terletak di bagian atas perut. Anatomi lambung terbagi menjadi a) kardiak, terhubung langsung dengan esofagus, ujungnya terdapat sfingter kardiak, incin otot sebagai klep pencegah makanan kembali ke esofagus; b) fundus, area melengkung sebelah atas lambung di bawah diafragma; c) badan lambung, tempat makanan dipecah dibantu HCl; d) antrum, penampung makanan; e) pilorus, bagian akhir terhubung dengan usus halus, ada sfingter pilorus (cincin

otot tebal) sebagai klep pengatur aliran makanan dari lambung ke duodenum dan mencegah makanan kembali ke lambung. Dinding lambung memiliki modifikasi pada muskularis, selain otot polos melingkar dan longitudinal, ada otot polos miring di bagian dalam sehingga lambung cepat mengocok dan memecah makanan menjadi partikel lebih kecil. Epitel mukosa lambung memiliki sel-sel mukosa penghasil mukus bersifat alkalin untuk proteksi (Nurdiyanti, 2021).



Gambar 5. 10. Struktur histologi dinding lambung

(Urry *et al.*, 2021)

4. Usus Halus

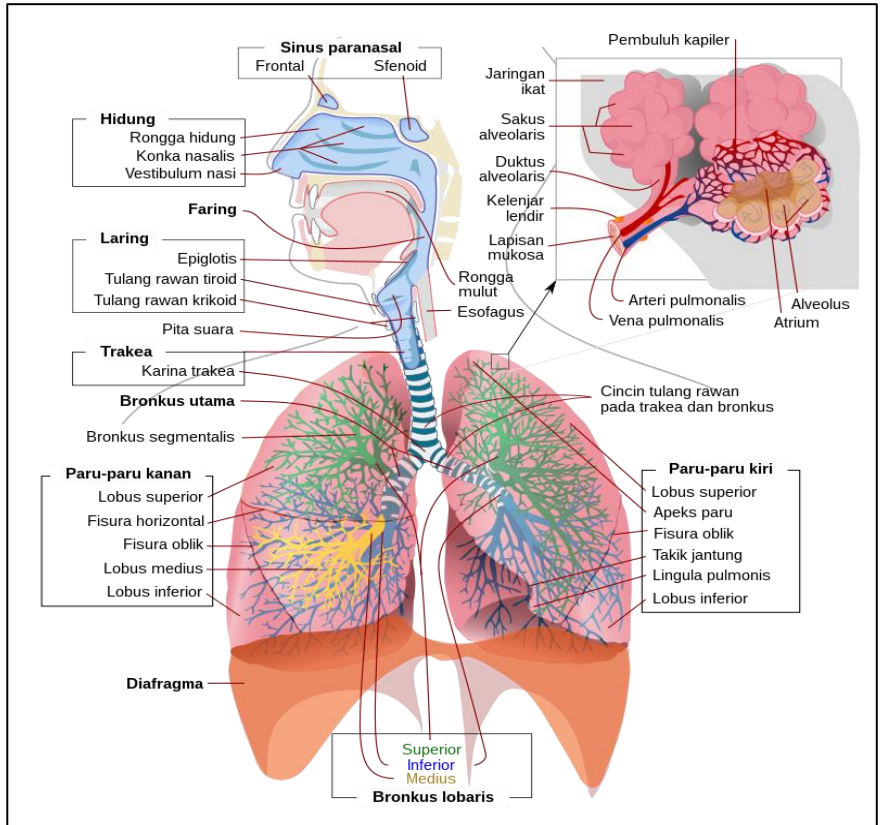
Cairan kim (*chyme*, bolus yang telah bercampur HCl lambung) dikeluarkan dari lambung ke dalam usus halus tempat proses pencernaan yang utama. Disini terjadi proses pencernaan dan penyerapan. Dinding usus halus memiliki lapisan yang sama dengan organ pencernaan lain. Namun, ada modifikasi berupa lipatan menonjol, vilus/vili, serta

mikrovili, yang memperluas area permukaan usus halus untuk penyerapan 600x lipat lebih. Modifikasi ini paling banyak di usus halus ($\frac{2}{3}$ bagian proksimal), lokasi penyerapan sebagian besar terjadi. Mukosa di antara vili penuh dengan celah dalam ke arah kelenjar usus menyerupai tabung (kriptus *Lieberkühn*) yang dibentuk oleh sel-sel pelapis celah tersebut. Bagian ini mensekresi sekret usus sedikit basa berupa air serta lendir dengan pH 7,4-7,8. Sekitar 0,95-1,9 liter diekskresikan per hari akibat masuknya kim lambung ke dalam usus maupun peningkatan diameter usus halus (Urry *et al.*, 2021).

5. Usus Besar

Ujung akhir saluran pencernaan yang menyempurnakan absorpsi nutrisi serta air, memproduksi beberapa vitamin, memadatkan dan mengeluarkan feses keluar tubuh. Disebut usus besar karena diameter 2x lipat meski panjang hanya setengah dari usus halus, dan terbentang dari sekum hingga anus (Nurdiyanti, 2021).

5.3.6 Sistem Respirasi

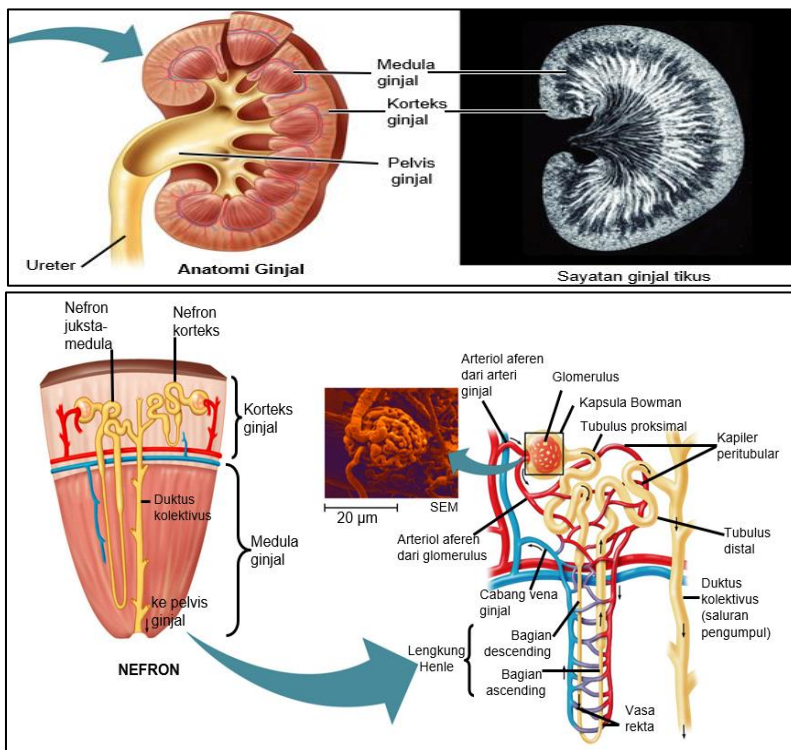


Gambar 5. 11. Struktur sistem pencernaan mamalia (manusia)
(Villarreal, 2020)

Fungsi utama sistem pernapasan adalah mengantarkan O_2 ke paru-paru untuk pertukaran dengan CO_2 . Paru-paru adalah organ respirasi utama amfibi, unggas, dan mamalia; terdiri atas hidung, sinus, faring, trakea, bronkus, bronkiolus, bronkiolus respiratori, dan alveoli. Pertukaran gas terjadi di alveoli (kantong bermembran satu lapis sel) dimana O_2 beralih ke kapiler dan CO_2 ke alveoli. Sistem respirasi juga menjaga keseimbangan asam-basa, menyaring emboli, dan memetabolisme zat-zat bioaktif (serotonin, prostaglandin, kortikosteroid, leukotrien, angiotensin) (Tonozzi, 2022).

5.3.7 Sistem Ekskresi (Urinaria)

Organ ekskresi utama berupa ginjal (2 buah), ureter, vesika urinaria serta urethra. Ginjal berperan mengekskresi produk limbah (amonia dan urea); pengaturan elektrolit, keseimbangan asam basa; pengendalian tekanan darah dan volume intravaskular melalui sistem renin-angiotensin-aldosteron; reabsorpsi asam amino, elektrolit, kalsium, fosfat, air, dan glukosa; serta sekresi hormon kalsitriol dan eritropoietin (Scott & Quaggin, 2015).



Gambar 5. 12. Struktur ginjal dan nefron mamalia (manusia)
(Urry *et al.*, 2021)

Ginjal terbagi atas area korteks dan medula dengan nefron sebagai unit fungsional. Arteriol aferen mensuplai darah ke glomerulus (anyaman kapiler) dikelilingi epitel berlapis ganda yaitu kapsul Bowman, secara kolektif membentuk korpuskel

ginjal. Arteriol eferen mengalirkan darah dari glomerulus, menjadi vasa rekta yang mempersarafi tubulus ginjal. Kapsul Bowman berlanjut menjadi tubulus kontortus proksimal, *loop* Henle (desenden, asenden), tubulus kontortus distal, saluran pengumpul (kortikal, meduler), saluran papiler, kaliks (minor, mayor), pelvis ginjal dan ureter (Madrado-Ibarra & Vaitla, 2023).

5.3.8 Sistem Reproduksi

Hewan dengan reproduksi seksual memiliki sistem reproduksi jantan dan betina, yang menghasilkan sel spermatozoa dan sel telur/ovum, meski ada perbedaan antar spesies (Anonim, 2022).

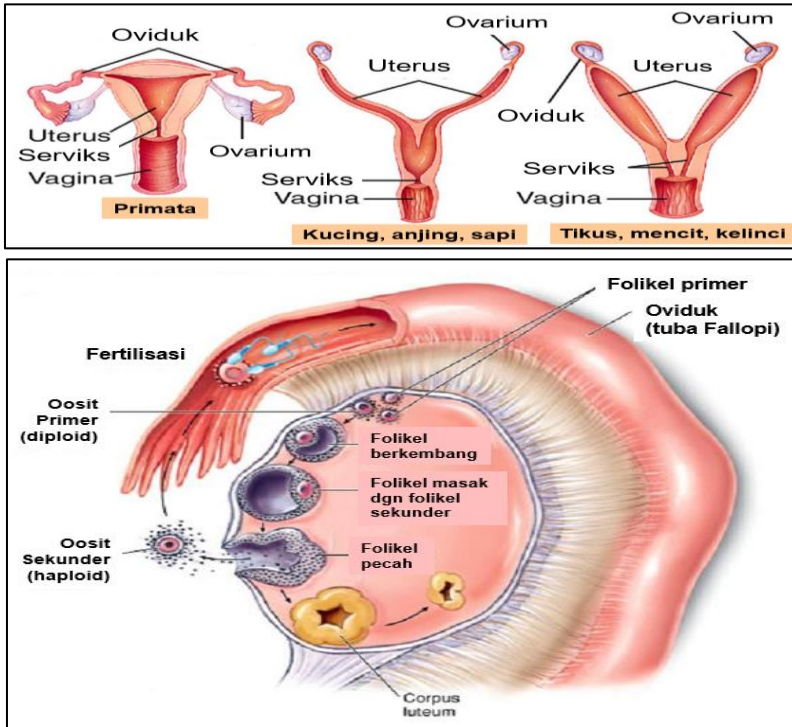
1. Sistem reproduksi betina

Pada mamalia, organ reproduksi terdiri dari vulva, vagina, leher rahim (serviks), rahim (uterus), saluran tuba (oviduk), dan ovarium. Ovarium tidak hanya memproduksi sel telur tetapi juga hormon estrogen dan progesteron. Hormon tersebut mengatur pematangan sel telur, kepadatan tulang, kesehatan jantung, dan kehamilan. Rahim memiliki lapisan endometrium dan tempat implantasi embrio (Anonim, 2022).

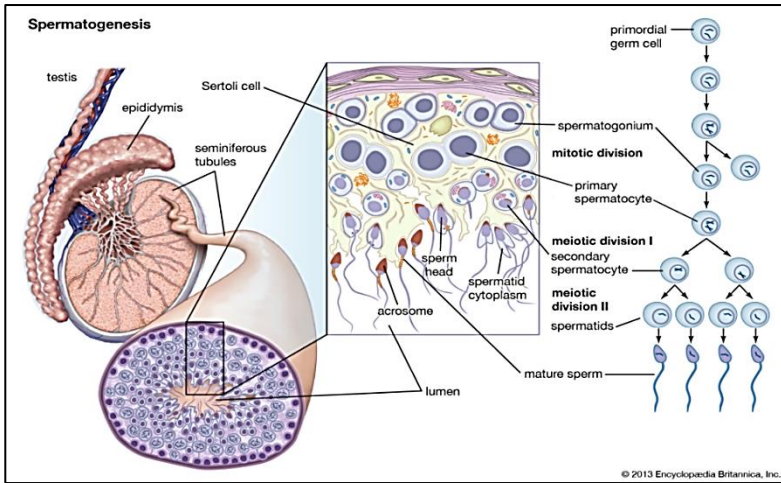
2. Sistem reproduksi jantan

Struktur reproduksi jantan meliputi organ utama seperti testis, dan saluran-saluran epididimis, vas deferens, ampula, uretra, dan kelenjar tambahan/asesoris termasuk vesikula seminalis, prostat, dan bulboourethralis/ Cowper. Organ seksual luar meliputi penis, preputium, dan skrotum. Testis terbungkus dalam kantong skrotum yang mengandung dua lobi testis. Testis tidak hanya memproduksi sperma, tetapi juga hormon testosteron untuk produksi sperma, mengatur kekuatan otot dan kepadatan tulang. Pada beberapa hewan, testis dapat berpindah dari

dalam skrotum (saat musim kawin) ke rongga perut (di luar musim kawin) (Lestari T. D. & Ismudiono, 2014).



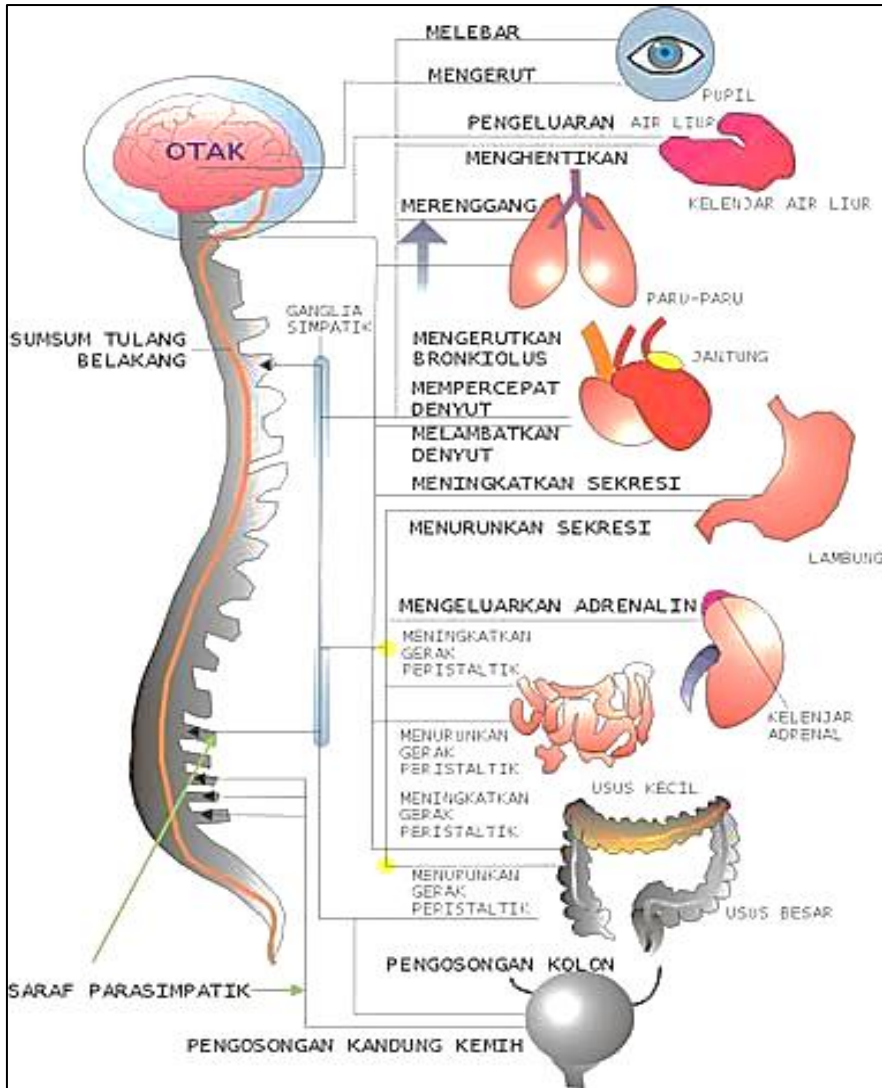
Gambar 5. 13. Struktur organ reproduksi betina
(Urry *et al.*, 2021)



Gambar 5.14 Struktur organ reproduksi jantan
(<https://www.britannica.com>)

5.3.9 Sistem Saraf

Vertebrata mempunyai pembagian sistem saraf yaitu sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi. Sistem saraf pusat dilindungi oleh tulang (cranium dan columna vertebralis), meningen, dan cairan serebrospinal (Thau *et al.*, 2022).



Gambar 5. 14. Koordinasi sistem saraf

(<https://id.pinterest.com/pin/843439836450703528/>)

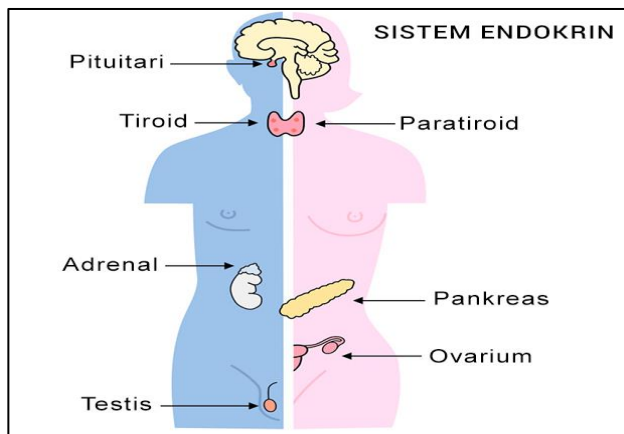
Sistem saraf pusat meliputi otak dan sumsum tulang belakang. Otak bertanggung jawab terhadap respons, sensasi, gerakan, emosi, komunikasi, pemrosesan berpikir, dan memori. Otak memiliki sawar darah-otak yang melindungi otak dari zat

berbahaya dalam darah. Otak memiliki belahan kiri dan kanan, yang bertanggungjawab atas perilaku berbeda. Sumsum tulang belakang mengirimkan perintah motorik dari otak ke tubuh perifer dan menyampaikan informasi sensorik dari organ sensorik ke otak. Ruas-ruas tulang belakang terbagi 4 wilayah yaitu serviks, toraks, lumbal, dan sakral. Setiap saraf keluar dari ruas vertebra melewati foramina inter-vertebralis menuju lokasi tertentu dalam tubuh. Ligamen ditemukan di sepanjang tulang belakang sebagai pelindung (Thau *et al.*, 2022).

Sistem saraf tepi mencakup sistem saraf motorik dan otonom yang mengatur fungsi tubuh. Sistem otonom terbagi menjadi simpatis dan parasimpatis, bekerja secara berlawanan mengontrol respons tubuh seperti "lawan atau lari" dan "istirahat atau cerna". Saraf simpatis mempersiapkan tubuh untuk aktivitas fisik (McCorry, 2007).

5.3.10 Sistem Endokrin

Sistem endokrin adalah sistem kompleks yang saling berhubungan yang berupa kelenjar pituitari, pankreas, kelenjar tiroid, adrenal, serta kelenjar penghasil hormon lainnya (Anonim, 2022).



Gambar 5.16 Kelenjar endokrin pada manusia

(<https://www.kerajaanbiologi.com/sistem-endokrin-sistem-hormon/>)

1. Kelenjar pituitari/ hipofisis

Kelenjar hipofisis memproduksi hormon akibat stimulus dari hipotalamus (Rahman, 2021):

- a. Hormon pertumbuhan (*growth hormone*), menstimulasi tumbuhnya jaringan tubuh, khususnya jaringan ikat kartilago di ujung tulang pipa/panjang.
- b. Gonadotropin yaitu FSH (*Follicle Stimulating Hormone*) dan LH (*Luteinizing Hormone*) agar menstimulasi gonad yaitu testis dan ovarium) mensekresikan hormonnya.
- c. Tireotropin atau TSH (*Thyroid Stimulating Hormone*), menstimulasi kelenjar tiroid mensekresikan hormonnya.
- d. ACTH (*Adrenocorticotropic Hormone*), menstimulasi kelenjar adrenal mengeluarkan hormonnya.
- e. Prolaktin, menstimulasi kelenjar susu untuk memproduksi ASI.
- f. MSH (*Melanocyte Stimulating Hormone*), menstimulasi keaktifan sel-sel melanosit penghasil pigmen melanin.

2. Kelenjar Reproduksi : Ovarium dan Testis

Pada betina, ovarium memproduksi estrogen dan progesteron. Hormon penstimulasi folikel atau *Follicle Stimulating Hormone* (FSH) dari hipofisis melakukan aktivitas merangsang pertumbuhan dan perkembangan folikel ovarium sehingga dapat mensekresikan hormon estrogen. Estrogen mempengaruhi pertumbuhan karakter seksual sekunder, perbaikan endometrium, regulasi hormon hipofisis yaitu mencegah produksi FSH dan merangsang produksi *luteinizing hormone* (LH) penginduksi ovulasi. Korpus luteum terbentuk setelah ovulasi (lepasnya ovum dari folikel) dan menghasilkan progesteron. Progesteron berperan mempertebal endometrium, menstimulasi fungsionalisasi luteal atau LH melalui stimulasi maturasi

oosit, pertumbuhan serta perkembangan folikel, serta pertumbuhan, perkembangan, dan fungsionalisasi korpus luteum dalam produksi dan sekresi hormon progesteron, juga mencegah produksi FSH dan LH dari hipofisis (Mege *et al.*, 2023). Jika ovum tidak difertilisasi, korpus luteum menyusut, menstruasi terjadi kembali, FSH akan dihasilkan kembali yang menstimulasi folikel matang kembali (Rahman, 2021).

Pada jantan, organ testis memproduksi sel-sel spermatozoa serta hormon testosteron. Terbentuknya spermatozoa distimulasi FSH, serta produksi hormon testosteron distimulasi LH (Rahman, 2021). FSH terlibat lebih luas dalam spermatogenesis sementara LH terutama berfungsi dalam regulasi produksi testosteron oleh Sel Leydig. Produksi testosteron sebagai respons terhadap LH kebanyakan fungsinya melalui reseptor androgen di nukleus sel spermatozoa serta merangsang ekspresi gen. Testosteron meregulasi proses pembentukan spermatozoa atau spermatogenesis (Mege *et al.*, 2023).

3. Kelenjar Pankreas

Pankreas adalah kelenjar asesoris pencernaan yang terletak melintang di abdomen atas diantara duodenum dan limpa. Sekitar 80% pankreas terdiri atas jaringan asinus pankreas (bagian eksokrin) yang mensekresi enzim-enzim pencernaan yang kemudian mengalir ke duodenum melalui saluran pankreas. Pankreas juga mengandung pulau Langerhans yang menghasilkan hormon (bagian endokrin) berisi empat jenis sel-sel endokrin yaitu sel A penghasil hormon glukagon, sel B penghasil hormon insulin, sel D penghasil hormon somatostatin, dan sel F penghasil polipeptida pankreas, yang kemudian masuk ke dalam darah. Insulin mengkonversi glukosa menjadi glikogen, kemudian didepositkan ke dalam hati dan otot, sehingga konsentrasi glukosa darah turun. Glukagon sebaliknya

mengkonversi glikogen menjadi glukosa sehingga konsentrasi glukosa darah naik (Talathi *et al.*, 2023).

4. Kelenjar Adrenal

Kelenjar adrenal letaknya menempel di bagian ginjal ujung atas, terbagi menjadi area korteks dan medula, berperan dalam steroidogenesis. Korteks adrenal memiliki 3 zona fungsional dan histologis berbeda yaitu lapisan terluar (zona glomerulosa), lapisan tengah (zona fasikulata), dan lapisan terdalam (zona retikularis). Korteks menghasilkan hormon steroid termasuk glukokortikoid (kortisol), mineralokortikoid (kortikosteron, 11-deoksikortikosteron, dan aldosteron), dan prekursor androgen adrenal (kebanyakan dehidroepiandrosteron), sedangkan medula menghasilkan hormon katekolamin, epinefrin, dan norepinefrin dipengaruhi oleh *Adrenocorticotrophic Hormone* (ACTH) atau kortikotropin yang diproduksi hipofisis (Dutt *et al.*, 2023).

5. Kelenjar Tiroid dan Paratiroid

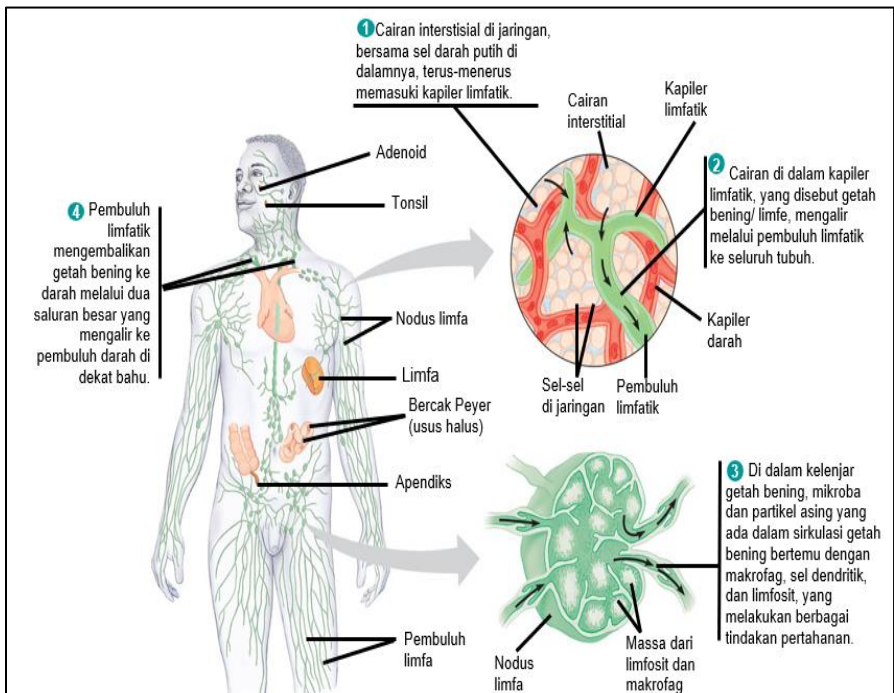
Kelenjar tiroid berlokasi di bagian depan kerongkongan pada leher, yang bertanggung jawab memproduksi hormon triiodotironin dan tiroksin. Kedua hormon bersama-sama bekerja dalam regulasi pertumbuhan, perkembangan, metabolisme, dan sistem saraf. Kelenjar paratiroid menghasilkan hormon paratiroid, posisinya dekat dengan kelenjar tiroid. Hormon ini berfungsi membantu menstabilkan konsentrasi fosfat dan kalsium di darah. Ketika konsentrasi fosfat dan kalsium ini turun, maka kelenjar paratiroid akan mengeluarkan hormonnya (Rahman, 2021).

5.3.11 Sistem Imunitas dan Limfatik

Sistem imunitas dan limfatik bertanggung jawab melawan infeksi, virus, dan pertumbuhan sel kanker. Sistem ini terdiri atas sumsum tulang, kelenjar getah bening, limpa, timus, dan

berbagai komponen jaringan limfe berkaitan dengan mukosa (Parker & Papenfuss, 2016).

Peran utama sistem getah bening adalah mengumpulkan dan menyaring cairan limfatik, yaitu cairan yang mengalir dari jaringan perifer sebelum dikembalikan ke sirkulasi darah. Fungsi ini memungkinkan perlindungan efektif terhadap banyak patogen, seperti bakteri dan virus, serta respon imun adaptif yang efektif. Limpa adalah organ penting yang bertanggung jawab membuang sel darah merah tua, menjaga cadangan darah, mendaur ulang unsur besi, mensintesis antibodi serta mempertahankan separuh monosit tubuh, yang memungkinkan monosit berpindah ke jaringan yang terluka untuk berdiferensiasi menjadi DC dan makrofag (Grisanti *et al.*, 2011).



Gambar 5. 15. Sistem limfatik mamalia (mamalia)

(Urry *et al.*, 2021)

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2022. [Internet].
<https://www.studysmarter.co.uk/explanations/biology/biological-structures/animal-body-systems/>
- Anonim. 2023. [Internet]. <https://www.albert.io/blog/an-overview-of-the-appendicular-skeleton/>
- Arackal, A. & Alsayouri, K. 2023. Histology, Heart. StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; Treasure Island (FL): January 2, 2023.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545143/>
- Dutt, M., Wehrle, C. J., & Jialal, I. 2023. Physiology, Adrenal Gland. StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; Treasure Island (FL): May 1, 2023.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537260/>
- Frontera, W.R. & Ochala J. 2015. Skeletal muscle: a brief review of structure and function. *Calcif Tissue Int.* 96(3):183-195.
- Ge, Z., Li, A., McNamara, J., Dos-Remedios, C., & Lal, S. 2019. Pathogenesis and pathophysiology of heart failure with reduced ejection fraction: translation to human studies. *Heart Fail Rev.* (5):743-758.
- Grisanti, L. A., Perez, D. M., & Porter, J.E. 2011. Chapter 6 - Modulation of Immune Cell Function by α 1-Adrenergic Receptor Activation. *Current Topics in Membranes.* (67):113-138. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384921-2.00006-9>
- Lestari, T. D. & Ismudiono. 2014. *Ilmu Reproduksi Ternak*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Madrazo-Ibarra, A. & Vaitla, P. 2023. StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; Treasure Island (FL): February 17, 2023. Histology, Nephron.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554411/>
- McCorry, L.K. 2007. Physiology of the autonomic nervous system. *Am J Pharm Educ.* 71(4):78.

- Mege, R. A., Setyawati, I., & Manampiring, N. 2023. *Pengantar Fisiologi Reproduksi Hewan Mamalia*. Klaten Jawa Tengah: Penerbit Underline.
- Munjal, A. & Bordoni, B. 2023. Anatomy, Blood Vessels. StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; Treasure Island (FL): April 24, 2023.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554407/>
- Noto, R. E., Leavitt, L., & Edens, M. A. 2022. Physiology, Muscle. StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; Treasure Island (FL): May 1, 2023.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532258/>
- Parker, G. A. & Papenfuss, T. L. 2016. Atlas of Histology of the Juvenile Rat, Chapter 10 - Immune System. Academic Press, pp. 293-347. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802682-3.00010-0>
- Rahman, L.A. 2021. Sistem Endokrin (Sistem Hormon), <https://www.kerajaanbiologi.com/sistem-endokrin-sistem-hormon/>
- Scott, R. P. & Quaggin, S. E. 2015. Review series: the cell biology of renal filtration. *J Cell Biol.* 209(2):199-210.
- Nurdiyanti. 2021. Struktur Perkembangan Hewan [Internet]. <https://lmsspada.kemdikbud.go.id/course/view.php?id=3426>
- Swetha, N. R. 2016. Review on Animal Tissues. *Research and Reviews Journal of Zoological Sciences*, Special Issue-S2: 101-107.
- Talathi, S. S., Zimmerman, R., & Young, M. 2023. Anatomy, Abdomen and Pelvis, Pancreas. StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; Treasure Island (FL): April 5, 2023.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532912/>
- Thau, L., Reddy, V., & Singh, P. 2022. Anatomy, Central Nervous System. StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; Treasure Island (FL): October 10, 2022.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK542179/>

- Tonozzi, C. C. 2022. The Respiratory System in Animals. [Internet]. <https://www.msdivetmanual.com/respiratory-system/respiratory-system-introduction/the-respiratory-system-in-animals>
- Tucker, W. D., Arora, Y., & Mahajan, K. 2023. Anatomy, Blood Vessels. StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; Treasure Island (FL): August 8, 2023. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470401/>
- Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, R.B. 2021. *Campbell Biology 12th Edition*. New York: Pearson Education Inc.
- Villarreal, M. R. 2020. [Internet]. https://id.wikipedia.org/wiki/Sistem_pernapasan
- Webb, R. C. 2003. Smooth muscle contraction and relaxation. *Adv Physiol Educ.* 27(1-4):201-206.

BAB 6

BIODIVERSITAS

Oleh Ningsi Saibi

6.1 Pengertian Biodiversitas

Biodiversitas atau Keanekaragaman hayati adalah keragaman jenis makhluk hidup yang hidup di suatu ekosistem. Hal ini mencakup berbagai spesies tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme yang hidup bersama dalam suatu lingkungan. Keanekaragaman hayati sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan keberlangsungan kehidupan di planet ini. Keuntungan adanya biodiversitas adalah tingginya ketahanan menghadapi perubahan lingkungan (Fergusson et al., 2012).



Gambar 6. 1. Keanekaragaman Hayati

Beberapa pengertian Keanekaragaman Hayati Menurut para ahli diantaranya yaitu:

1. Menurut Zulkifli (1997), keanekaragaman hayati atau disebut juga keanekaragaman biologi merupakan istilah yang berkenaan dengan berbagai kehidupan yang ada di bumi.
2. Dahuri (2003) menyatakan bahwa keanekaragaman hayati mencakup keragaman/keanekaragaman ekosistem (habitat), jenis (spesies), dan genetik (varietas/ras).
3. Keanekaragaman hayati merupakan suatu istilah yang mencakup semua bentuk kehidupan seperti mencakup gen, spesies tumbuhan, hewan dan mikroorganisme serta ekosistem dan proses-proses ekologi (Sutoyo, 2010).
4. Biodiversitas diartikan sebagai banyaknya dan kelimpahan jenis (spesies) makhluk hidup, variasi genetik dalam suatu spesies, serta keragaman habitat dan ekosistem (Roe, D., et al., 2018).
5. Keanekaragaman hayati (*biodiversity*) merupakan semua makhluk hidup yang ada di bumi meliputi organisme bersel tunggal hingga organisme tingkat tinggi (Siboro, 2019).

Indonesia adalah pusat biodiversitas terbesar di dunia (von Rintelen et al., 2017). Ini disebabkan oleh banyaknya spesies flora dan fauna Indonesia. Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup tahun 2015, Indonesia memiliki 4.300 spesies hewan, termasuk 1.501 spesies endemik, dan 38.000 spesies tumbuhan, termasuk sekitar 25.000 spesies endemik (Kementerian Lingkungan Hidup, 2015). Kalimantan adalah pusat biodiversitas tumbuhan Dipterokarpa untuk tumbuhan hutan berkayu. Lebih dari 50% spesies Dipterokarpa yang ada di dunia dapat ditemukan di sana (MacKinnon et al., 1996).

6.2 Tingkat Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati dapat terjadi pada tingkat gen, tingkat jenis, dan tingkat ekosistem.

6.2.1 Keanekaragaman Hayati Tingkat Gen

Tingkat gen penting dalam studi keanekaragaman hayati karena gen menciptakan karakteristik dan sifat-sifat organisme. Tingkat gen adalah bagian dari DNA yang mengandung informasi genetik yang diturunkan dari satu generasi ke generasi berikutnya. Variasi genetik yang ada di antara individu dalam populasi atau spesies disebut sebagai keanekaragaman hayati tingkat gen.



Gambar 6. 2. Keankeragaman Tingkat Gen pada Buah Mangga (*Mangifera indica* L.)

Variasi alel dan kombinasi alel yang ada dalam populasi tertentu disebut keanekaragaman gen pada tingkat populasi. Alel adalah bentuk alternatif dari gen yang terletak pada lokus genetik tertentu pada kromosom, dan migrasi individu antar populasi adalah beberapa mekanisme yang dapat menyebabkan keanekaragaman gen.

Faktor-faktor yang mempengaruhi keanekaragaman gen meliputi:

1. **Mutasi Genetik:** Perubahan dalam urutan DNA yang dapat menghasilkan alel baru dan memperkenalkan variasi genetik.
2. **Rekombinasi Genetik:** Proses di mana alel-alel dari dua orang tua yang berbeda digabungkan selama reproduksi seksual, menciptakan kombinasi alel yang berbeda.
3. **Seleksi Alam:** Tekanan seleksi alam terhadap sifat-sifat tertentu dapat mempengaruhi frekuensi alel dalam suatu populasi.
4. **Migrasi (Hewan dan Tanaman):** Perpindahan individu-individu antar populasi dapat mengenalkan variasi genetik baru.
5. **Bottleneck dan Efek Pendiri:** Kejadian seperti bottleneck (penyempitan gen) atau efek pendiri (pembentukan populasi baru) dapat mengubah keanekaragaman gen dalam suatu populasi.
6. **Hibridisasi:** Persilangan antara individu-individu dari populasi yang berbeda dapat menghasilkan kombinasi alel baru.

Keanekaragaman gen sangat penting untuk kelangsungan hidup suatu populasi atau spesies. Populasi yang memiliki lebih banyak keanekaragaman gen memiliki lebih banyak kemungkinan untuk beradaptasi terhadap perubahan lingkungan, menghadapi seleksi alam, dan bertahan dari penyakit.

Gen menjadi kunci konservasi karena berperan penting dalam mempertahankan populasi dan pemulihan dari kerusakan. Oleh karena itu, pelestarian dan pemanfaatan sumber daya genetik harus dilakukan secara berkelanjutan

untuk mencegah perubahan yang tidak diinginkan di masa depan (Widjaja et al., 2014).

Indonesia memiliki sumber daya genetik yang sangat kaya dan dapat dieksploitasi. Sumber daya genetik mikroba, juga dikenal sebagai sumber daya genetik mikroba, adalah materi genetik yang berasal dari mikroba, baik berupa organisme, populasi, atau komponen biotik ekosistem lain yang membawa unit fungsional pewarisan dan memiliki nilai nyata dan potensial untuk manusia. Dalam definisi ini, materi genetik tidak hanya termasuk dalam satu jenis organisme tertentu, tetapi juga kumpulan materi genetik dalam komunitas tertentu. Ini juga disebut sebagai mikrobiom, atau microbiome.

Ciri-Ciri Keanekaragaman Hayati Tingkat Gen:

Keanekaragaman hayati tingkat gen mencakup berbagai ciri-ciri yang menggambarkan variasi genetik dalam suatu populasi. Berikut adalah beberapa ciri umum dari keanekaragaman genetik:

1. Polimorfisme Genetik

Adanya banyak alel atau variasi gen dalam populasi yang dapat menghasilkan berbagai bentuk fenotip.

2. Frekuensi Alel

Distribusi relatif dari berbagai alel atau bentuk gen dalam suatu populasi.

3. Heterozigositas

Kehadiran dua alel yang berbeda untuk satu lokus gen dalam satu individu, yang menyebabkan keanekaragaman genetik pada tingkat individu.

4. Genotip yang Beragam

Adanya berbagai kombinasi genotip dalam suatu populasi.

5. Rekombinasi Genetik

Proses percampuran dan penukaran materi genetik selama reproduksi seksual yang menyebabkan variasi genetik baru.

6. Mutasi Genetik

Perubahan acak dalam urutan DNA yang dapat menyebabkan terbentuknya alel-alel baru.

7. Ketidakseimbangan Genetik

Adanya perubahan dalam frekuensi alel dalam suatu populasi akibat tekanan seleksi, drift genetik, atau migrasi.

8. Keanekaragaman Genetik Antarpopulasi

Perbedaan genetik antara populasi yang berbeda, terutama jika ada isolasi geografis atau ekologi.

9. Ketahanan Genetik

Kemampuan suatu populasi untuk bertahan terhadap tekanan lingkungan atau penyakit karena adanya variasi genetik.

10. Keseimbangan Genetik

Pemeliharaan distribusi alel dalam suatu populasi selama beberapa generasi, yang bisa diakibatkan oleh berbagai proses seperti seleksi alam dan hukuman heterozigositas.

11. Adaptasi Genetik

Kehadiran sifat-sifat yang dapat memberikan keuntungan adaptatif dalam suatu lingkungan tertentu.

Ekologi, evolusi, dan konservasi bergantung pada keanekaragaman hayati tingkat gen. Memahami dan memelihara keanekaragaman genetik dapat membantu melindungi ketahanan dan kelangsungan hidup spesies dalam menghadapi perubahan lingkungan dan tekanan seleksi.

6.2.2 Keanekaragaman Hayati Tingkat Spesies

Keanekaragaman pada individu yang berbeda jenis dikenal sebagai keanekaragaman tingkat species. Ini diamati lebih mudah karena perbedaan yang lebih menyolok dan tidak dapat menghasilkan keturunan jika dikawinkan dengan anggota species yang berbeda.



Gambar 6. 3. Keanekaragaman Tingkat Spesies

Keanekaragaman spesies didefinisikan sebagai keanekaragaman spesies atau makhluk hidup atau organisme. Ini dinilai berdasarkan kekayaan spesies, menggambarkan jumlah total spesies yang ada di wilayah yang ditentukan. Jumlah relatif spesies disebut kelimpahan spesies ini. Kelimpahan spesies yang sama menunjukkan keanekaragaman dan variasi yang tinggi; namun, jika 96 individu mewakili satu spesies dan sisanya hanya mewakili satu spesies, keanekaragaman itu rendah. Tidak semua spesies komunitas berbeda di alam. Fungsi ekologis setiap spesies dapat diklasifikasikan dalam dua kategori: 1. Jenis fungsional: spesies yang melakukan fungsi ekologis yang berbeda; 2. Analog

fungsional: taksa yang berbeda yang melakukan fungsi ekologis yang sama atau mirip.

Dua makhluk hidup mampu melakukan perkawinan dan menghasilkan keturunan yang fertil (mampu melakukan perkawinan dan menghasilkan keturunan) maka kedua makhluk hidup tersebut merupakan *satu spesies*.

Keanekaragaman atau variasi yang terjadi pada berbagai spesies atau jenis makhluk hidup dalam genus atau familia yang sama disebut keanekaragaman hayati tingkat jenis. Ada karakteristik unik yang membedakan spesies tersebut satu sama lain. Pertimbangkan famili *Fellidae*, yang terdiri dari kucing, harimau, dan singa. Keluarga *Palmae* terdiri dari kelapa, aren, palem, siwalan, lontar, dan keluarga *Papilionaceae* terdiri dari kacang tanah, kacang buncis, kacang panjang, dan kacang kapri. Keluarga *graminae* terdiri dari rumput teki, padi, dan jagung. Genus *Ipomoea* terdiri dari dua jenis ketela: *Ipomoea batatas* dan *Ipomoea crassicaulis*. Pohon beringin (*Ficus benjamina*) dan pohon preh (*Ficus ribes*) adalah genus *Ficus*.

6.2.3 Keanekaragaman Hayati Tingkat Ekosistem

Ekosistem adalah kumpulan hubungan timbal balik antara makhluk hidup (biotik) dan lingkungannya (abiotik). Setiap ekosistem memiliki karakteristik fisik, kimia, vegetasi, dan hewan tertentu. Jenis makhluk hidup yang tinggal di lingkungan makhluk hidup ini sangat beragam karena keanekaragaman lingkungannya. Jenis keanekaragaman ini dikenal sebagai keanekaragaman tingkat ekosistem.

Keanekaragaman ekosistem berkaitan dengan keragaman habitat atau ekosistem yang mencakup komunitas biotik dan proses ekologi yang terjadi di dalam ekosistem. Ekosistem adalah komunitas biologis hewan dan tumbuhan yang berinteraksi satu sama lain serta lingkungannya di wilayah tertentu.

Kumpulan dan interaksi tertentu dari spesies dan lingkungan fisiknya di lokasi tertentu disebut keanekaragaman ekosistem. Misalnya, jika ada dua hutan yang berbeda di tempat yang sama, spesies, komunitas alami, dan habitat pasti akan berbeda satu sama lain di masing-masing ekosistem. Ini adalah keanekaragaman ekosistem. Ketiga komponen keanekaragaman hayati ini menunjukkan bahwa kekayaan biosfer tetap terjaga di tempat asalnya, proses yang disebut "konservasi in-situ" oleh para ahli ekologi.



Gambar 6. 4. Keanekaragaman Tingkat Ekosistem

Perubahan evolusioner, perubahan geologi, dan fluktuasi populasi acak adalah komponen tambahan yang mempengaruhi keragaman sistem. Ini menunjukkan bahwa konservasi sumber daya hayati harus menjadi prioritas utama bagi semua orang. Harus ada tindakan tegas untuk menghentikan penyalahgunaan sumber daya ini, yang sangat penting untuk kelangsungan hidup manusia. Di seluruh Bumi, keanekaragaman hayati tidak merata. Tempat-tempat tropis memiliki lebih banyak keanekaragaman hayati terestrial. Hal ini disebabkan oleh suhu dan iklim yang hangat yang memungkinkan produktivitas primer yang tinggi

(Field et al., 2009). Di sepanjang pantai Pasifik barat, di mana suhu permukaan laut tertinggi dan hubungan gradien garis lintang dengan keanekaragaman spesies, keanekaragaman hayati lingkungan laut cenderung tinggi (Tittensor et al., 2010). Keanekaragaman hayati umumnya cenderung mengelompok di sekitar pusat (Myers et al., 2000) dan telah berkembang seiring waktu (McPeck and Brown, 2007), tetapi kemungkinan besar akan menurun di masa mendatang.

6.3 Manfaat Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman tumbuhan dan hewan digunakan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia, baik primer maupun sekunder. Kebutuhan sekunder manusia berasal dari keanekaragaman hayati, seperti transportasi (kuda, unta, dan sapi), rekreasi (kuda, unta, dan sapi), pangan (serelia atau biji-bijian, umbi-umbian, sayur, buah, telur, daging, dan susu), papan (pohon meranti, pohon sengon, pohon jati, dan pohon mahoni), dan udara bersih. Keanekaragaman hayati memiliki banyak nilai bagi manusia karena manfaatnya. Ini termasuk nilai biologi, nilai estetika, nilai religius, nilai ekonomi, nilai budaya, dan nilai pendidikan.

6.3.1 Nilai Biologi

Keanekaragaman hayati memiliki nilai biologis atau membantu makhluk hidup, termasuk manusia, hidup. Tumbuhan tidak hanya menghasilkan zat organik, seperti biji, umbi-umbian, dan buah, tetapi juga menghasilkan gas oksigen (O_2) yang diperlukan oleh makhluk hidup untuk pernapasan. Humani dapat menggunakan hewan sebagai bahan makanan dan pakaian. Beberapa jasad renik digunakan untuk membuat tempe, oncom, dan kecap, misalnya. sebagai sumber plasma nutfah (plasma benih), nilai biologis penting lainnya.

Pangan, sandang, papan, bahan bakar, obat-obatan, bahan baku industri, dan banyak manfaat lain yang diperoleh manusia dari keanekaragaman hayati. Misalnya, untuk menekankan pentingnya konservasi keanekaragaman hayati, beberapa spesies keanekaragaman hayati memiliki potensi untuk menyediakan obat-obatan baru dan proaktif untuk pengelolaan atau kemungkinan penyembuhan penyakit yang sulit disembuhkan seperti kanker, HIV, atau AIDS (Attuquayefio and Fobil, 2005).

Pereda nyeri Opiat berasal dari bunga poppy, aspirin dari willow, dan kina dari pohon Cinchona, semuanya berasal dari sumber daya hayati. Keanekaragaman mikroba, selain hewan dan tanaman, juga bermanfaat bagi manusia, terutama dalam pertanian. Jamur patogen sering merusak pertanian. Mikroba yang mungkin berasal dari tanah atau endofit dapat menghentikan pertumbuhan jamur patogen tersebut. Misalnya, *Bacillus thuringiensis* dari tanah hutan harapan Jambi dapat menghentikan jamur patogen *Curvularia affinis* dan *Colletotrichum gloeosporioides* yang menyebabkan penyakit bercak daun pada pembibitan kelapa sawit (Asril, Mubarik, dan Wahyudi, 2014).

Bakteri yang mungkin ini berasal dari tanah hutan yang masih memiliki keragaman tinggi. Selain daerah yang memiliki keragaman yang tinggi, jenis mikroba yang berbeda juga dapat ditemukan di tempat yang tercemar, seperti tanah Bangka yang telah tercemar oleh penambangan timah. Namun, keragaman bakteri yang mungkin ada di lokasi tersebut dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk menghasilkan zat seperti enzim kitinase untuk menghentikan jamur *Fusarium oxysporum*, yang menyebabkan penyakit rebah kecambah pada tanaman cabai (Suryanto et al., 2014). Selain mencemari logam, kondisi tanah asam memungkinkan berbagai mikroba untuk berkembang biak, yang dapat digunakan sebagai biostimulan untuk melarutkan fosfat dan menghasilkan hormon indole acetic acid serta

bioprotektan (antijamur) pada tanaman industri (Asril and Lisafitri, 2020; Asril, Y Lisafitri, et al., 2021; Asril, Yuni Lisafitri, et al., 2021; Asril, Lisafitri and Siregar, 2022).

Diversitas mikroba juga berasal dari berbagai sumber, seperti limbah cair tahu, yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan bakteri perombak protein (proteolitik), yang dapat melarutkan fosfat, menurunkan COD dan BOD, dan dapat digunakan sebagai agen biofertilizer yang dapat mendorong pertumbuhan tanaman dan mencegah bakteri patogen (Asril and Leksikowati, 2019; Asril, Oktaviani and Leksikowati, 2019; Asril, Lisafitri and Siregar, 2020). Selain itu, ada bidang ilmu pengetahuan yang dikenal sebagai bioteknologi atau biomimikri. Untuk menemukan solusi untuk masalah yang dihadapi manusia, ini melibatkan penelitian sumber daya hayati alam, yaitu spesies hewan atau tumbuhan yang ada di lingkungannya (Biomimicry Institute, 2009).

Struktur dan desain alam digunakan untuk belajar atau membuat produk rekayasa. Ini menjelaskan mengapa banyak penemuan ilmiah dan teknologi yang didasarkan pada alam. Sebagai contoh, konsep atau model yang digunakan untuk membuat pakaian renang hidrodinamik dibuat dari kulit hiu. Bahkan organisme kecil yang tampaknya tidak signifikan memberikan pelajaran penting bagi para ilmuwan dan teknolog. Cangkang pasir (*Phragmatopoma californica*) membuat jenis lem tertentu untuk merekatkan cangkang pasir yang pecah. Ahli bedah sekarang menggunakan pelajaran dari jenis lem ini untuk membuat jenis lem yang dapat memperbaiki tulang yang retak di area internal berair tubuh. Ini hanyalah beberapa contoh keajaiban alam.

6.3.2 Nilai Estetika

Nilai estetika, yang berarti keanekaragaman hayati dapat membantu manusia menjadi lebih tenang dan bahagia, memenuhi kebutuhan mental dan spiritual mereka. Contohnya

adalah taman laut yang memiliki keindahan terumbu karang sebagai tempat rekreasi.

6.3.3 Nilai Religius

Keanekaragaman hayati juga membantu kita mengingat betapa indahnya Tuhan membuat alam ini. Memiliki pemahaman tentang kekayaan alam kita harus diterapkan dalam kehidupan sehari-hari sehingga kita juga tahu bagaimana memanfaatkannya. Karena kekayaan alam kita mungkin berkurang atau hilang jika pemanfaatannya dilakukan secara sembarangan. Dalam kehidupan sehari-hari manusia, keanekaragaman hayati dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan, seperti sandang, pangan, papan, dan obat-obatan. Pemanfaatan sebagai pangan untuk kebutuhan atau sebagai bahan makanan, seperti sayuran, buah-buahan, dan daging. Untuk kebutuhan pakaian, seperti kapas, bulu hewan, dan kulit hewan; untuk kebutuhan papan atau tempat tinggal, seperti kayu jati, meranti, dan albasia. Keanekaragaman hayati tidak hanya digunakan untuk sandang, pangan, dan papan, tetapi juga dapat digunakan untuk obat-obatan dan kosmetik. Dengan hutan tropisnya, Indonesia memiliki banyak potensi tanaman obat. Pelajari uraian berikut untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik.

6.3.4 Nilai Ekonomi

Keanekaragaman hayati dapat meningkatkan pendapatan negara, atau uang asing. Untuk bahan baku industri, rempah-rempah, dan perkebunan, misalnya. Contoh bahan baku industri adalah kayu gaharu dan cendana untuk industri kosmetik, kayu jati dan rotan untuk pembuatan lemari dan kursi, kopi dan teh untuk industri minuman, padi dan kacang kedelai untuk industri makanan, dan ubi kayu untuk membuat alkohol. Contoh rempah-rempah adalah lada, cengkih, dan pala; contoh tanaman perkebunan adalah karet dan kelapa sawit.

6.3.5. Nilai Budaya

Keanekaragaman hayati yang menarik perhatian karena keindahan dan kekhasannya, seperti karapan sapi di Madura atau ukiran kayu jati di Jepara. Oleh karena itu, penting untuk menjaga nilai budaya agar keanekaragaman hayati tetap indah dan terjaga.

6.3.6. Nilai Pendidikan

Keanekaragaman hayati membantu pendidikan karena biasanya. Para ahli masih menyelidiki keanekaragaman hayati untuk tujuan ilmiah, seperti dengan mengamati kelinci sebagai hewan percobaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asril, M., Mubarik, N. R. and Wahyudi, A. T. (2014) 'Partial purification of bacterial chitinase as biocontrol of leaf blight disease on oil palm', *Research Journal of Microbiology*, 9(6), pp. 265–277. doi: 10.3923/jm.2014.265.277.
- Asril, M., Oktaviani, I. and Leksikowati, S. (2019) 'Isolasi Bakteri Indigineous dari Limbah Cair Tahu dalam Mendegradasi Protein dan Melarutkan Fosfat', *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 20(1), pp. 67–72. doi: 10.29122/JTL.V20I1.3132.
- Attuquayefio, D. and Fobil, J. (2005) 'An overview of Biodiversity Conservation in Ghana: Challenges and prospects', *West African Journal of Applied Ecology*, 7, pp. 1–18. Available at: <http://www.sciepub.com/reference/179141> (Accessed: 23 April 2022).
- Biomimicry Institute (2009) *Secrets Of The Sandcastle Worm Could Yield A Powerful Medical Adhesive*, American Chemical Society. Available at: <https://www.sciencedaily.com/releases/2009/08/090817184433.htm> (Accessed: 23 April 2022).
- Ferguson, M. E., Jones, R. B., Bramel, P. J., Domínguez, C., Torre do Vale, C., & Han, J. (2012). Post-flooding disaster crop diversity recovery: a case study of Cowpea in Mozambique. *Disasters*, 36(1): 83-100.
- Field, R. et al. (2009) 'Spatial species-richness gradients across scales: a metaanalysis', *Journal of Biogeography*, 36(1), pp. 132–147. doi: 10.1111/J.1365-2699.2008.01963.X.
- Indrawan, M., Primack, R. B., dan Supriatna, J. 2007. *Biologi Konservasi.: Yayasan Obor Indonesia*. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup (2015). *Keanekaragaman Hayati*. Diakses pada Nopember 2017 dari http://www.menlh.go.id/keanekaragaman_hayati/

- MacKinnon, K., Hatta, G., Mangalik, A., & Halim, H. (1996). *The ecology of Kalimantan* (Vol. 3). Oxford: Oxford University Press.
- McPeck, M. A. and Brown, J. M. (2007) 'Clade age and not diversification rate explains species richness among animal taxa', *The American naturalist*, 169(4). doi: 10.1086/512135.
- Myers, N. et al. (2000) 'Biodiversity hotspots for conservation priorities', *Nature* 2000 403:6772, 403(6772), pp. 853–858. doi: 10.1038/35002501.
- Reddy, A., Prakash, V., dan Shiveji, S. 2007. A Rapid, Non-Invasive, PCR-Based Method for Identification of Sex of The Endangered Old World Vultures Implications for Captive Breeding Programmes. *Current Science*. 92(5).
- Suryanto, D. et al. (2014) 'Assay of antagonistic bacteria of single isolate and combination to control seedling-off in chili seed caused by *Fusarium oxysporum*', *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 8(Spl. Edn. 2), pp. 645–650.
- Tittensor, D. P. et al. (2010) 'Global patterns and predictors of marine biodiversity across taxa', *Nature*, 466(7310), pp. 1098–1101. doi: 10.1038/NATURE09329.
- Von Rintelen, K., Arida, E., & Hauser, C. (2017). A review of biodiversity related issues and challenges in megadiverse Indonesia and other Southeast Asian countries. *Research Ideas and Outcomes*, 3: e20860.
- Widjaja, E. A. et al. (2014) *Kekinian keanekaragaman hayati Indonesia*, 2014. LIPI Press.

BAB 7

PENGELOMPOKAN MAKHLUK HIDUP

Oleh WD. Syarni Tala

7.1 Pendahuluan

Pengelompokan makhluk hidup telah dimulai sejak masa Aristoteles (384-322 SM), seorang filsuf Yunani kuno. Aristoteles memainkan peran penting dalam mengembangkan sistem pengelompokan awal makhluk hidup. Aristoteles mengelompokkan makhluk hidup berdasarkan karakteristik seperti ukuran dan bentuk tubuh sehingga makhluk hidup terbagi menjadi dua kelompok utama yaitu hewan dan tumbuhan.

Carolus Linnaeus (1707-1778), seorang ahli botani Swedia yang dianggap sebagai Bapak Taksonomi Modern memperkenalkan sistem binomial nomenklatur, di mana setiap organisme diberi nama ilmiah yang terdiri dari dua kata, kata pertama adalah genus dan kata kedua adalah spesies. Sistem ini memberikan cara penamaan yang lebih teratur dan konsisten untuk pengklasifikasian makhluk hidup.

Ernst Haeckel (1834-1919) adalah seorang ahli biologi dan filsuf asal Jerman yang dikenal karena kontribusinya terhadap perkembangan teori evolusi dan konsep morfologi komparatif. Haeckel memperkenalkan klasifikasi baru dalam dunia biologi, termasuk kelompok Protista untuk organisme uniseluler dan Monera untuk organisme uniseluler tanpa inti sel.

Robert Harding Whittaker (1920-1980) adalah seorang ahli taksonomi Amerika dari Cornell University yang memberikan kontribusi signifikan di bidang ekologi, khususnya di bidang klasifikasi vegetasi dan ekologi ekosistem. Kontribusi Whittaker terhadap klasifikasi ekologi menjadi dasar dalam studi ekosistem dan terus mempengaruhi penelitian di bidang ekologi. Karyanya meletakkan dasar untuk memahami keanekaragaman kehidupan di bumi dan faktor-faktor yang membentuk ekosistem di berbagai wilayah iklim yang berbeda. Selain itu, pada tahun 1959, Whittaker mengusulkan sistem pengelompokan baru makhluk hidup yang paling banyak diterima saat itu. Sistem ini menempatkan semua makhluk hidup (kecuali virus) ke dalam lima kingdom berdasarkan organisasi seluler dan pola nutrisinya yaitu Monera, Protista, Fungi, Plantae, dan Animalia. Namun, sistem lima kingdom tidak diterima oleh banyak ahli biologi. Masalah utamanya adalah kurangnya perbedaan antara archaea dan bakteri. Perbedaan antara kingdom Protista, Plantae, dan Fungi juga tidak dapat didefinisikan dengan jelas, contohnya ganggang cokelat yang mungkin tidak berkerabat dekat dengan tumbuhan, meskipun pada sistem lima kingdom ditempatkan dalam kelompok tumbuhan.

Carl Woese (1928-2012) adalah seorang ahli mikrobiologi dan biofisika Amerika yang memberikan kontribusi inovatif di bidang mikrobiologi, khususnya dalam pemahaman keanekaragaman kehidupan melalui penemuan domain kehidupan ketiga yaitu Archaea. Carl Woese menentang klasifikasi tradisional organisme hidup berdasarkan dua kelompok utama yaitu prokariota (bakteri) dan eukariota (tumbuhan, hewan, jamur). Pada tahun 1977, Woese memperkenalkan domain sebagai tingkatan taksonomi yang lebih tinggi daripada kerajaan. Woese mengusulkan tiga domain utama yaitu Bacteria, Archaea, dan Eukarya. Pengelompokan ini

didasarkan pada perbedaan struktur dan sekuens asam nukleat ketiga domain tersebut.

Thomas Cavalier-Smith adalah seorang ahli biologi evolusioner asal Inggris yang telah membuat kontribusi signifikan dalam pengelompokan dan taksonomi mikroorganisme. Salah satu konsep utamanya adalah pengelompokan tingkat tinggi yang dikenal sebagai kingdom atau superkingdom. Ia telah mengusulkan berbagai perubahan dan penyempurnaan terhadap sistem klasifikasi makhluk hidup. Pada 1998, Cavalier-Smith mengusulkan model enam kerajaan yaitu Animalia, Fungi, Plantae, Chromista, Protozoa, dan Bacteria. Salah satu kontribusi terbesarnya adalah pengenalan kingdom Chromista, yang mencakup alga coklat, diatom, dan organisme bersilia. Sebelumnya, organisme ini sering dikelompokkan dalam kingdom Plantae atau Protozoa. Cavalier-Smith memperkenalkan konsep Neomura sebagai kelompok besar yang mencakup Archaea dan Eukaryota. Cavalier-Smith menyatakan bahwa Archaea dan Eukaryota berbagi garis keturunan yang lebih dekat satu sama lain daripada dengan Bacteria. Sehingga pada tahun 2015, Cavalier-Smith dan rekan-rekannya kembali mengusulkan revisi klasifikasi. Kali ini, mereka kembali memisahkan Bacteria dan Archaea sehingga terdapat tujuh kingdom makhluk hidup yaitu Bacteria, Archaea, Protozoa, Chromista, Plantae, Fungi, dan Animalia.

7.2 Pengelompokan Makhluk Hidup

7.2.1 Kingdom Bacteria

Kingdom Bacteria dan Kingdom Archaea merupakan kelompok organisme prokariotik yang telah hidup di bumi sejak 3,5 juta tahun yang lalu, jauh lebih lama dari eukariota yang diperkirakan mulai menempati bumi 1,5 sampai 1,6 juta tahun yang lalu (Solomon, Berg and Martin, 2008; Urry *et al.*, 2020).

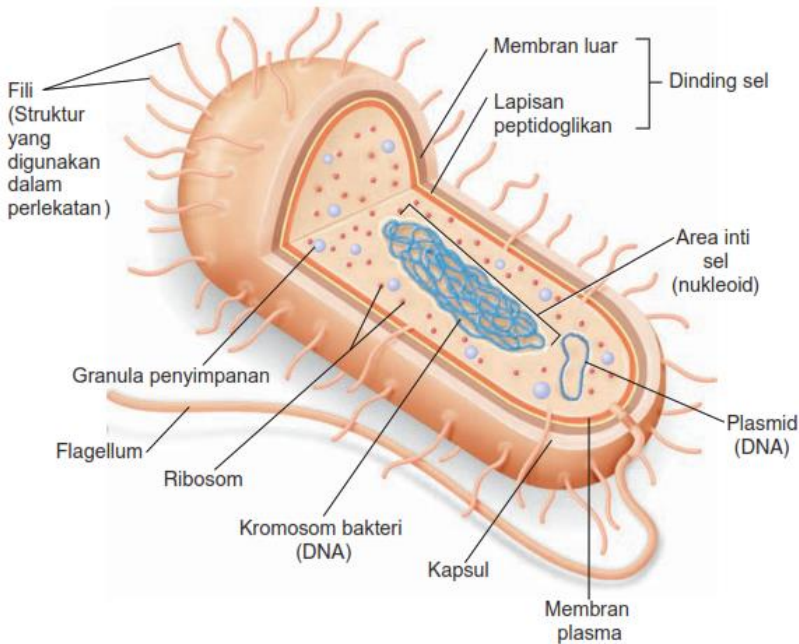
Organisme prokariotik mulai dikenal saat penemu mikroskop asal Belanda, Antonie van Leeuwenhoek menemukan bakteri dan mikroorganisme lainnya pada tahun 1674 ketika mengamati setetes air danau melalui lensa kaca. Sejak saat itu, penelitian terkait organisme mikroskopik ini terus berkembang. Pada akhir tahun 1800-an, banyak mikroorganisme, termasuk bakteri, jamur, dan protozoa, diidentifikasi sebagai patogen atau agen penyebab penyakit, salah satunya pada manusia. Meskipun bakteri menyebabkan banyak penyakit pada manusia misalnya infeksi pernapasan dan keracunan makanan, hanya sebagian kecil spesies bakteri yang bersifat patogen. Pada kenyataannya, bakteri memainkan peran yang sangat penting dalam kehidupan manusia dan organisme lainnya. Dalam biosfer, bakteri berperan sebagai pengurai dengan menguraikan molekul organik menjadi komponen-komponen penyusunnya. Beberapa spesies bakteri merupakan produsen yang melakukan fotosintesis. Bakteri lainnya berperan dalam mengubah nitrogen di atmosfer menjadi amonia dan kemudian menjadi nitrat yang digunakan oleh tumbuhan. Konversi nitrogen hingga membentuk nitrat ini memungkinkan tumbuhan dan hewan menghasilkan senyawa-senyawa yang mengandung nitrogen seperti protein dan asam nukleat (Solomon, Berg and Martin, 2008).

Bakteri umumnya bersifat uniseluler, namun beberapa spesies membentuk koloni atau filamen yang terdiri atas sel-sel yang terspesialisasi. Bakteri memiliki diameter 0,5 – 5 μm . Ukuran sel bakteri jauh lebih kecil daripada ukuran sel eukariota yang berdiameter 10 – 100 μm (Urry *et al.*, 2020). Bakteri memiliki dua bentuk dasar yaitu bulat dan batang. Bakteri berbentuk bulat yang dikenal sebagai kokus (*coccus*) dapat terdiri atas satu sel saja atau membentuk kelompok (koloni). Sel bakteri dapat terdiri atas dua sel berbentuk bulat (diplokokus), dalam rantai panjang (streptokokus), atau dalam gumpalan tidak beraturan yang terlihat seperti tandan buah anggur (stafilokokus). Bakteri berbentuk batang disebut basilus

(*bacillus*) dapat berbentuk batang tunggal atau rantai yang panjang. Beberapa jenis bakteri juga dapat berbentuk spiral. Jika sel bakteri yang berbentuk spiral itu fleksibel maka disebut spiroket (*spirochete*) dan jika kaku disebut spiral (*spirillum*). Bakteri spiral yang berbentuk seperti koma disebut vibrio (Kayser *et al.*, 2005; Solomon, Berg and Martin, 2008).

Sel bakteri tidak memiliki inti sel yang terbungkus membran. Sel bakteri hanya memiliki area inti yang mengandung DNA yang disebut nukleoid. Selain DNA yang terdapat di nukleoid, sebagian besar bakteri memiliki sejumlah kecil informasi genetik yang disebut plasmid. Plasmid merupakan fragmen DNA melingkar yang berukuran lebih kecil. Plasmid dapat berjumlah satu atau lebih pada sel bakteri. Selain tidak memiliki inti sel, sel bakteri juga tidak memiliki organel yang terbungkus membran seperti pada organel yang ditemukan pada sel eukariotik. Bakteri tidak memiliki mitokondria, kloroplas, retikulum endoplasma, kompleks golgi, atau lisosom. Sel bakteri hanya memiliki ribosom berukuran kecil dan butiran granula yang menyimpan senyawa glikogen, lipid atau fosfat.

Kebanyakan sel bakteri memiliki dinding sel yang mengelilingi membran plasma. Dinding sel ini berperan sebagai kerangka yang menopang sel, mempertahankan bentuk sel, dan menjaga sel agar tidak pecah saat berada dalam kondisi hipotonik. Dinding sel bakteri mengandung peptidoglikan, polimer kompleks yang terdiri dari dua jenis gula yang berikatan dengan polipeptida pendek (gula amino). Gula dan polipeptida ini membentuk makromolekul tunggal yang mengelilingi seluruh membran plasma (Gambar 7.1).



Gambar 7. 1 Struktur sel bakteri

(Sumber: Solomon, Berg and Martin, 2008)

Beberapa spesies bakteri menghasilkan kapsul atau lapisan lendir yang mengelilingi dinding sel. Pada spesies yang hidup bebas, kapsul dapat memberikan perlindungan tambahan pada sel bakteri dari fagositosis mikroorganisme lain. Bakteri juga menggunakan kapsul ini untuk menempel pada permukaan seperti batu, akar tanaman, atau gigi manusia. Beberapa bakteri memiliki ratusan struktur mirip rambut yang disebut fili. Fili membantu bakteri menempel satu sama lain atau menempel pada permukaan tertentu, seperti sel yang diinfeksi. Beberapa fili memiliki ukuran yang panjang yang disebut fili seks yang berperan dalam transmisi DNA antar bakteri.

Bakteri dapat bergerak menggunakan flagela yang berputar. Flagela ini bergerak memutar karena adanya energi dari ATP yang memompa proton keluar dari sel. Difusi proton

kembali ke dalam sel inilah yang menggerakkan flagela secara berputar. Namun flagela bakteri berbeda dengan flagela pada eukariotik karena tidak tersusun oleh mikrotubulus.

Bakteri bereproduksi secara aseksual, umumnya dengan pembelahan biner. Pembelahan biner adalah pembelahan yang terjadi saat satu sel membelah menjadi dua sel serupa. Pembelahan biner terjadi dengan kecepatan yang luar biasa. Pada kondisi ideal, beberapa spesies bakteri membelah dalam waktu kurang dari 20 menit. Pada tingkat ini, jika tidak ada yang mengganggu, satu sel bakteri dapat menghasilkan lebih dari 1 miliar bakteri dalam waktu 10 jam. Namun, bakteri tidak dapat berkembang biak dengan kecepatan ini dalam waktu yang lama karena bakteri membutuhkan makanan untuk bereproduksi. Selain itu, penumpukan limbah dari proses reproduksi dapat memperlambat pertumbuhan populasi bakteri. Bentuk reproduksi aseksual lainnya adalah pertunasan. Namun reproduksi melalui pertunasan ini kurang umum terjadi. Pertunasan terjadi saat sel bakteri membentuk tonjolan atau tunas yang kemudian membesar, matang, dan akhirnya terpisah dari sel induk (Solomon, Berg and Martin, 2008).

Bakteri merupakan kelompok prokariota yang tersebar paling luas pada berbagai tipe habitat, sehingga bakteri lebih dikenal oleh ahli mikrobiologi dibandingkan archaea. Berdasarkan Manual Bergey of Bacteriology, bakteri terbagi menjadi lebih dari 20 filum. Kelompok bakteri yang utama yaitu Proteobacteria (gram negatif), Cyanobacteria (gram negatif), bakteri gram positif, Chlamydiae, dan Spirochetes.

7.2.2 Kingdom Archaea

Carl Woese adalah ilmuwan yang pertama kali memisahkan prokariota menjadi dua kelompok yaitu Bacteria dan Archaea. Pemisahan ini didasarkan pada hasil analisis sekuens RNA ribosom subunit kecil 16S rRNA (SSU rRNA). 16S rRNA dengan panjang sekitar 1540 nukleotida yang berasal dari

subunit ribosom kecil ini menunjukkan bahwa berdasarkan urutan nukleotida pada rRNAny, archaea lebih berkerabat dekat satu sama lain dibandingkan archaea dengan bakteri (Margulis and Chapman, 2009). Hal ini diduga akibat evolusi divergen sehingga populasi prokariota mengalami diversifikasi dan mutasi yang mempengaruhi urutan nukleotida RNAny. Berdasarkan analisis tersebut, Woese berhipotesis bahwa pada awal sejarah kehidupan, prokariota purba terpisah menjadi dua garis keturunan yang berbeda. Berdasarkan hasil penelitian Woese ini, para ahli mikrobiologi kemudian mengelompokkan keturunan modern dari dua garis keturunan kuno ini dalam dua domain yaitu Bacteria dan Archaea. Domain Archaea yang sesuai dengan Kingdom Archaea mencakup sekelompok prokariota yang menghasilkan gas metana dari sumber karbon sederhana dan dua kelompok lainnya yang hidup di lingkungan ekstrem (Solomon, Berg and Martin, 2008).

Archaea memiliki sejumlah perbedaan mendasar dengan bakteri. Archaea memiliki dinding sel yang kaku dengan struktur yang beragam. Dinding sel ini mengandung banyak lipid yang tidak biasa dengan gugus isoprenil berulang yang terikat pada gliserol dan lapisan S glikoprotein dalam susunan seperti kisi yang melekat pada membran. Dinding sel ini tidak mengandung peptidoglikan seperti pada bakteri, sebaliknya, pada metanogen, dinding sel mengandung lapisan pseudomurein, yang mirip dengan struktur peptidoglikan (Esko, Doering and Raetz, 2009). Selain itu, meskipun membran plasma archaea dan bakteri serupa secara struktural, namun secara kimiawi membran plasma keduanya berbeda. Pada membran plasma bakteri dan eukariota, asam lemak rantai lurus dihubungkan dengan molekul gliserol melalui ikatan ester. Pada archaea, komponen asam lemak tidak ditemukan, yang ada adalah hidrokarbon rantai cabang yang disintesis dari unit isoprena yang terikat pada gliserol melalui ikatan eter (Trivedi, Pandey and Bhadauria, 2010). Pada ikatan eter tidak ada atom oksigen

elektronegatif kedua yang membuat ikatan eter lebih kuat dibandingkan ikatan ester. Struktur membran sel yang unik ini diduga berkontribusi pada kemampuan archaea untuk bertahan hidup dan berkembang di lingkungan yang keras (Solomon, Berg and Martin, 2008).

Secara kimiawi, archaea lebih mirip eukariota dibandingkan dengan bakteri, misalnya ribosom archaea lebih menyerupai ribosom eukariota dibandingkan dengan ribosom bakteri. Archaea tidak memiliki RNA polimerase sederhana yang ditemukan pada bakteri. Selain itu, proses translasi pada archaea juga dimulai dengan metionin seperti pada eukariota, sedangkan pada bakteri, translasi dimulai dengan formilmetionin. Perbedaan karakteristik antara bakteri, archaea, dan eukariota dapat dilihat pada Tabel 7.1.

Tabel 7. 1. Perbedaan karakteristik antara Bakteri, Archaea, dan Eukariota

Karakteristik	Bakteri	Archaea	Eukariota
Pembungkus nukleus	Tidak ada	Tidak ada	Ada
Membran yang membungkus organel	Tidak ada	Tidak ada	Ada
DNA berbentuk melingkar	Ada	Ada	Tidak ada
Protein histon yang berasosiasi dengan DNA	Tidak ada	Ada	Ada
Peptidoglikan pada dinding sel	Ada	Tidak ada	Tidak ada
Struktur lipid pada membran plasma	Asam lemak rantai lurus yang berikatan dengan gliserol dengan ikatan	Hidrokarbon rantai bercabang yang berikatan	Asam lemak rantai lurus yang berikatan dengan gliserol dengan ikatan

Karakteristik	Bakteri	Archaea	Eukariota
	ester	dengan gliserol dengan ikatan eter	ester
Ukuran ribosom	70S	70S	80S (kecuali pada mitokondria dan ribosom)
Translasi	Dimulai dengan formilmetionin	Dimulai dengan metionin	Dimulai dengan metionin
RNA polimerase	Satu (4 subunit)	Beberapa (masing-masing memiliki 8-12 subunit)	Tiga (masing-masing memiliki 12-14 subunit)
Faktor transkripsi	Tidak ada	Ada	Ada
Struktur promotor	-10 hingga -35 sekuens	TATA box	TATA box

Sumber: Solomon, Berg and Martin (2008); Trivedi, Pandey and Bhadauria (2010)

Archaea dapat dibagi menjadi tiga kelompok utama berdasarkan metabolisme dan ekologiannya yaitu metanogen, halofil ekstrem, dan termofil ekstrem. Metanogen (produsen metana) adalah kelompok besar dan beragam yang menghuni lingkungan tanpa oksigen seperti limbah dan daerah rawa. Selain itu metanogen juga umum ditemukan di saluran pencernaan manusia dan hewan lainnya. Metanogen adalah anaerob obligat yang tidak dapat hidup pada lingkungan yang mengandung oksigen. Archaea ini menghasilkan gas metana dari senyawa karbon sederhana.

Halofil ekstrem adalah organisme heterotrof yang hidup dalam larutan air garam jenuh seperti kolam garam, Laut Mati, dan Danau Garam Besar (*Great Salt Lake*). Halofil ekstrim menggunakan respirasi aerob untuk membuat ATP, namun juga dapat melakukan fotosintesis dimana archaea ini menangkap energi sinar matahari menggunakan pigmen ungu yang disebut *bacteriorhodopsin*.

Termofil ekstrem memerlukan suhu yang sangat tinggi untuk pertumbuhannya. Organisme ini biasanya menghuni lingkungan dengan suhu yang tinggi antara 45°C hingga 110°C, juga terkadang menghuni lingkungan pHnya rendah. Satu spesies termofil ekstrem ditemukan menghuni mata air panas belerang di Taman Yellowstone pada suhu mendekati 60°C dan nilai pH 1 hingga 2 (pH asam sulfat pekat). Beberapa jenis lainnya mendiami daerah vulkanik di bawah laut. Satu spesies ditemukan di dasar laut pada lubang bawah laut yang panas dan hidup pada suhu berkisar antara 80°C hingga 110°C (Solomon, Berg and Martin, 2008).

Taksonomi bakteri dan archaea masih kontroversial dan terus berubah hingga saat ini. Namun diketahui bahwa lebih dari 1.220 genera dan 6.000 spesies telah diklasifikasikan. Berdasarkan Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Archaea terbagi menjadi empat filum yaitu Crenarchaeota, Euryarchaeota, Korarchaeota, dan Nanoarchaeota.

7.2.3 Kingdom Protozoa

Kingdom Protozoa dahulunya merupakan bagian dari Protista. Namun berdasarkan sistem klasifikasi Cavalier-Smith, Protozoa berkembang menjadi kingdom tersendiri. Berdasarkan sistem klasifikasi ini sejumlah organisme dikeluarkan dari kelompok protozoa dan dimasukkan ke kingdom lainnya. Contohnya Myxozoa yang berdasarkan bukti filogenetik molekuler menunjukkan bahwa Myxozoa sebenarnya adalah animalia, bukan protozoa dan bahwa mesozoa berkerabat

dengan hewan bilaterian. Selain itu, Microsporidia dikeluarkan dari protozoa karena bukti sekuens protein menunjukkan bahwa parasit intraseluler amitokondria ini berkerabat dengan jamur, bukan protozoa (Cavalier-Smith, 1998).

Kata protozoa berasal dari bahasa Yunani yaitu *proto* berarti pertama dan *zoa* berarti hewan. Penamaan ini didasarkan pada struktur sel protozoa yang tidak memiliki dinding sel dan aktivitasnya yang menyerupai hewan seperti motilitas dan pemangsaan, sehingga awalnya protozoa dimasukkan di dalam Kingdom Animalia. Protozoa merupakan organisme eukariota uniseluler, namun tidak berarti bahwa protozoa adalah organisme yang sederhana. Protozoa adalah organisme kompleks yang semua aktivitas kehidupannya dilakukan dalam satu sel. Bahkan seringkali protozoa lebih kompleks daripada sel tertentu pada organisme tingkat tinggi (Miller and Harley, 2016).

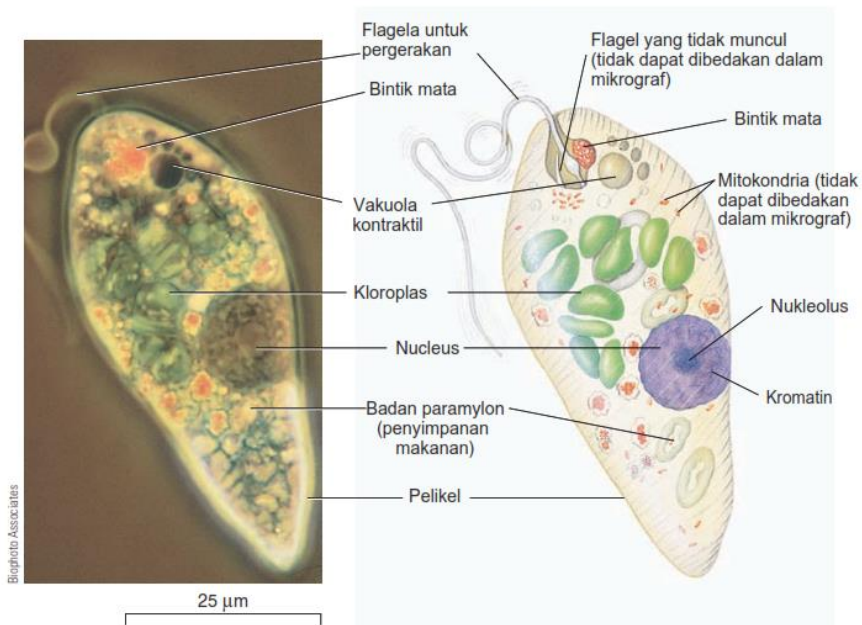
Sebagian besar protozoa berukuran kurang dari 50 μm . Protozoa memiliki panjang 1 - 10 μm , tetapi *Balantidium coli* dapat berukuran 150 μm . Protozoa tidak memiliki dinding sel dari kolagen, kitin, maupun selulosa. Protozoa memiliki membran plasma yang membungkus sitoplasma, juga melapisi struktur penggerak seperti pseudopodia, silia, dan flagela (Yaeger, 1996). Lapisan permukaan luar protozoa tersusun oleh mikrotubulus yang teratur disebut pelikel. Pelikel ini cukup kaku, sehingga dapat mempertahankan bentuk protozoa, namun juga fleksibel seperti pada *Tripanosoma* dan *Giardia* (Miller and Harley, 2016).

Protozoa memiliki karakteristik seperti pada semua eukariota lainnya yaitu nukleusnya terbungkus dalam membran. Pada protozoa selain ciliata, nukleusnya berbentuk vesikuler, dengan kromatin yang tersebar, sehingga tampak seperti nukleus yang menyebar. Salah satu tipe nukleus vesikuler

mengandung badan sentral yang disebut endosom atau kariosom.

Sitoplasma pada sebagian besar protozoa dibedakan menjadi dua wilayah. Sitoplasma yang berada tepat di bawah pelikel disebut ektoplasma (Yunani, *ectos* berarti luar dan *plasma* berarti membentuk). Ektoplasma bersifat transparan dan kental. Sitoplasma bagian dalam disebut endoplasma (Yunani, *endon* berarti di dalam). Endoplasma merupakan lapisan dalam yang mengandung organel dan lebih cair. Endoplasma ini merupakan struktur sitoplasma yang paling mudah dilihat pada spesies dengan pseudopodia yang menonjol, seperti amoeba.

Protozoa memiliki organel yang fungsinya mirip dengan organ pada hewan tingkat tinggi seperti badan golgi, mitokondria, lisosom, vakuola makanan, dan organel khusus lainnya (Yaeger, 1996). Beberapa protozoa memiliki sitosom atau mulut sel untuk menelan cairan atau partikel padat. Pada protozoa juga terdapat vakuola kontraktil untuk membuang kelebihan air (Gambar 7.2). Pada beberapa protozoa, vakuola kontraktil terbentuk dari penggabungan vakuola yang lebih kecil. Banyak protozoa memiliki mikrotubulus subpelikular, juga mikrofilamen yang memberikan dukungan mekanis terhadap struktur seluler dan membantu pergerakan sel (Miller and Harley, 2016).



Gambar 7.2. Struktur sel *Euglena gracilis*

(Sumber: Solomon, Berg and Martin, 2008)

Reproduksi seksual dan aeksal terjadi pada protozoa. Reproduksi seksual terjadi melalui pembentukan dan peleburan gamet untuk membentuk zigot. Sedangkan reproduksi aseksual dapat terjadi melalui pembelahan biner dan pertunasan.

Pembelahan biner merupakan salah satu bentuk reproduksi aseksual yang paling sederhana dan paling umum terjadi. Pada pembelahan biner, mitosis menghasilkan dua inti yang didistribusikan ke dalam dua sel berukuran sama ketika sitoplasma membelah. Selama sitokinesis, beberapa organel berduplikasi untuk memastikan bahwa setiap protozoa baru memiliki organel yang dibutuhkan untuk melanjutkan kehidupan.

Bentuk lain dari reproduksi aseksual yang juga sering terjadi yaitu pembentukan tunas (*budding*). Selama pembentukan tunas, mitosis diikuti oleh penggabungan satu inti sel ke dalam massa sitoplasma yang jauh lebih kecil daripada sel induknya. Pembelahan ganda atau skizogoni (Yunani, *schizein* berarti membelah) terjadi ketika sejumlah besar sel anak terbentuk dari pembelahan satu sel induk protozoa. Skizogoni dimulai dengan pembelahan inti sel secara mitosis berkali-kali pada individu dewasa. Ketika sejumlah inti sel telah terbentuk, pembelahan sitoplasma menghasilkan pemisahan setiap inti sel menjadi sel baru (Miller and Harley, 2016).

Berdasarkan sistem klasifikasi Cavalier-Smith, Kingdom Protozoa dibagi menjadi dua subkingdom yaitu Archezoa dan Neozoa. Archezoa merupakan protozoa yang tidak memiliki mitokondria, sedangkan Neozoa merupakan protozoa yang memiliki mitokondria dengan krista berbentuk tabung. Pada kedua subfilum ini, ada total 13 filum dalam Kingdom Protozoa yang diakui saat ini, termasuk Filum Percolozoa dan Euglenozoa (Cavalier-Smith, 1998).

7.2.4 Kingdom Chromista

Chromista adalah salah satu dari lima kingdom organisme eukariotik yang diakui dalam klasifikasi tujuh kingdom Cavalier-Smith. Chromista memiliki kemampuan adaptasi yang sangat luas sehingga dapat menempati berbagai macam tipe habitat. Chromista mencakup sebagian besar ganggang laut dan protista heterotrofik yang hidup di laut, air tawar maupun di tanah, dan beberapa hidup sebagai agen penyakit pada tubuh manusia seperti parasit penyebab malaria (*Plasmodium*) dan patogen pada tanaman pertanian seperti hawar daun kentang (*Phytophthora*). Chromista memiliki bentuk tubuh dan cara hidup yang sangat bervariasi, jauh lebih beragam dibandingkan Kingdom Fungi atau Protozoa (Cavalier-Smith, 2018).

Chromista yang hidup bebas diperkirakan memiliki lebih dari 150.000 spesies, paling banyak adalah diatom yang diperkirakan berjumlah lebih dari 100.000 spesies, foraminifera sekitar 10.000 spesies yang hidup saat ini dan sekitar 40.000 spesies yang telah menjadi fosil, dan masih ada ribuan spesies Chromista lainnya yang belum dideskripsikan. Chromista parasit memiliki jumlah yang diperkirakan sepuluh kali lebih banyak daripada chromista yang hidup bebas karena chromista seperti sporozoa dapat menginfeksi serangga dan spesies hewan lainnya. Chromista juga dapat menginfeksi tanaman, bahkan dapat menginfeksi protozoa atau Chromista lainnya. Saat ini, total anggota Chromista yang telah teridentifikasi sekitar 180.000 spesies, baik yang hidup bebas maupun parasit.

Chromista adalah eukariota bersel tunggal maupun multiseluler yang pada dasarnya memiliki salah satu atau dua karakteristik utama. Karakteristik pertama yaitu adanya plastida yang memiliki klorofil a dan c yang dikelilingi oleh membran periplastidial dan berada di dalam retikulum endoplasma kasar yang bersambungan dengan membran inti sel. Karakteristik kedua yaitu adanya dua atau tiga bagian rambut tubular pada salah satu atau kedua flagelnya (Sym and Maneveldt, 2011).

Kingdom Chromista terdiri atas dua subkingdom yaitu Subkingdom Harosa (Superfilum Heterokonta dan Alveolata, dan infrakingdom Rhizaria) dan Subkingdom Hacrobia (Filum Haptista dan Cryptista). Subkingdom Hacrobia adalah adalah yang paling dekat hubungan kekerabatannya dengan Plantae. Subkingdom ini terdiri atas tiga kelompok utama dengan pigmen kloroplas dan ultrastruktur yang berbeda yaitu Glaucophyta, Rhodophyta, dan Viridiplantae. Glaucophyta dan Rhodophyta memiliki fikobilisom, tilakoid yang tidak bertumpuk, dan pati yang terdapat pada sitosol. Fikobilisom adalah struktur khusus yang mengandung pigmen fikobilin. Pigmen ini berperan dalam menyerap energi cahaya tambahan dan membantu proses fotosintesis saat berada di air yang dalam.

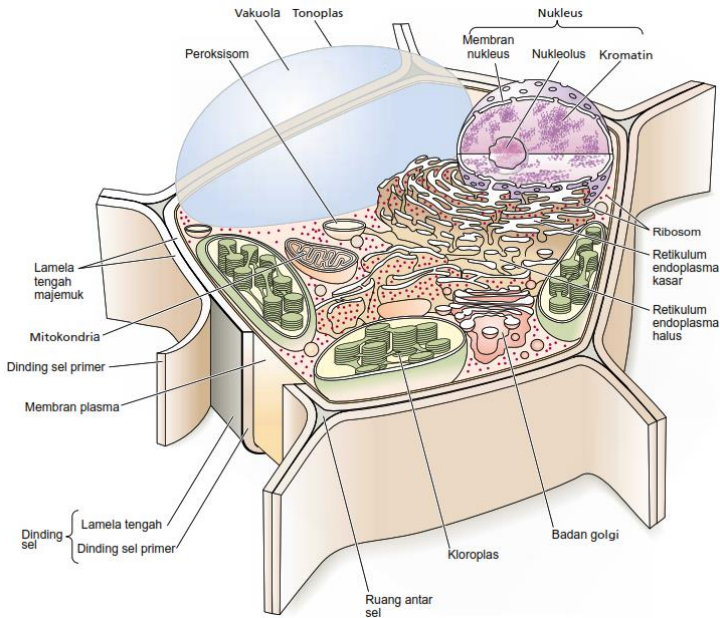
Sedangkan Viridiplantae memiliki klorofil *b* dan tidak memiliki fikobilisom, tilakoid yang bertumpuk, dan pati yang tersimpan pada plastida (Cavalier-Smith, 2018).

7.2.5 Kingdom Plantae

Tumbuhan diperkirakan memiliki sekitar 279.000 spesies. Dari jumlah ini, sekitar 15.000 spesies merupakan Bryophyta, 10.000 spesies Pteridophyta, 820 spesies Gymnospermae, dan 253.000 spesies Angiospermae. Angiospermae dianggap sebagai kelompok tumbuhan yang paling baru dalam evolusinya dan paling kuat yang pernah ada di bumi. Angiospermae menempati sebagian besar daerah terestrial di bumi, dan merupakan komponen utama vegetasi di dunia (Singh, 2010).

Tumbuhan memiliki morfologi yang sangat beragam dengan ukuran yang juga sangat bervariasi, mulai dari yang berukuran beberapa millimeter hingga ada yang mencapai ratusan meter. Namun terlepas dari semua keberagaman ini, tumbuhan memiliki struktur dasar yang sama. Struktur dasar ini mulai dari tingkat sel hingga perannya dalam ekosistem.

Tumbuhan adalah organisme multiseluler yang terdiri dari jutaan sel dengan fungsi khusus. Pada saat dewasa, struktur sel-sel khusus tersebut mungkin sangat berbeda satu sama lain. Namun, semua sel tumbuhan memiliki organisasi eukariotik dasar yang sama. Sel-sel tersebut mengandung nukleus, sitoplasma, dan organel-organel subseluler seperti mitokondria, retikulum endoplasma, vakuola, dan badan golgi. Organel-organel ini terbungkus oleh membran (Gambar 7.3) (Taiz and Zeiger, 2002). Struktur tertentu seperti nukleus, dapat hilang selama pematangan sel, tetapi semua sel tumbuhan dimulai dengan kelengkapan organel yang serupa (Taiz and Zeiger, 2002).



Gambar 7. 3. Struktur sel tumbuhan
(Sumber: Taiz and Zeiger, 2002)

Sel tumbuhan memiliki perbedaan mendasar dengan sel hewan. Setiap sel tumbuhan dikelilingi oleh dinding sel yang kaku dari selulosa. Selulosa, seperti halnya pati, adalah polisakarida, tetapi unit gula glukosa terikat pada posisi beta-1,4 (β -1,4-glukopiranosida). Perubahan kecil pada posisi ikatan kimia ini menghasilkan molekul yang sangat berbeda. Selulosa disekresikan di luar membran plasma sebagai unit-unit mikroskopis seperti serat yang disebut mikrofibril yang selanjutnya terjalin menjadi unit-unit fibril yang lebih besar, membentuk jaring-jaring yang saling mendukung. Fungsi selulosa adalah untuk memberikan kekakuan pada sel, sehingga dapat bertindak sebagai kerangka luar sel (Simpson, 2019). Sel tumbuhan memiliki dua jenis dinding sel yaitu dinding sel primer dan sekunder. Dinding sel primer biasanya tipis dengan ketebalan kurang dari 1 μm dan merupakan ciri khas sel muda yang sedang tumbuh. Dinding sel sekunder lebih tebal dan lebih

kuat dari dinding sel primer karena tersusun dari lignin. Dinding sel ini terbentuk ketika sebagian besar pembesaran sel telah selesai (Taiz and Zeiger, 2002).

Tumbuhan merupakan produsen utama di bumi. Tumbuhan memanen energi cahaya matahari untuk mengubah karbondioksida dan air menjadi karbohidrat melalui proses fotosintesis. Fotosintesis terjadi pada organel yang disebut kloroplas. Kloroplas pada tumbuhan berbeda dengan kebanyakan organisme lain seperti ganggang merah dan coklat karena (1) mengandung klorofil b di samping klorofil a, yang berfungsi sebagai pigmen tambahan untuk menangkap cahaya, (2) memiliki tilakoid (membran yang mengandung klorofil) yang bertumpuk membentuk grana, dan (3) menghasilkan pati yang merupakan polimer unit gula glukosa (polisakarida) dimana molekul glukosa terikat secara kimiawi pada posisi alfa-1,4 (α -1,4-glukopiranosida) (Simpson, 2019).

Tumbuhan memiliki rancangan dasar tubuh yang sama. Tubuh vegetatif tumbuhan terdiri dari tiga organ utama yaitu akar, batang, dan daun. Fungsi utama akar adalah penahan dan penyerap air serta unsur hara, fungsi utama batang adalah sebagai penopang tubuh tumbuhan, dan fungsi utama daun adalah sebagai tempat berlangsungnya proses fotosintesis. Pada seluruh bagian tubuh tumbuhan ini terdapat sistem pembuluh angkut yang berperan penting dalam transportasi hasil fotosintesis dan unsur hara, serta evaporasi dan transpirasi. Sistem pembuluh angkut ini yaitu floem dan xilem (Taiz and Zeiger, 2002).

Berdasarkan kesepakatan secara universal, anggota Kingdom Plantae meliputi ganggang hijau, lumut hati dan lumut, Pteridophyta, Gymnospermae, dan Angiospermae. Semua kelompok ini sama-sama memiliki kloroplas dengan klorofil b, klorofil a, tilakoid dan grana, serta pati sebagai tempat penyimpanan makanan. Adanya evolusi pada kutikula yang

melapisi epidermis tumbuhan untuk melindungi jaringan dari kekeringan, adanya gametangia yang merupakan organ penghasil telur dan sperma serta perkembangan embrio mencirikan tumbuhan darat atau Embriophyta. Karakteristik ini merupakan transisi dari lingkungan akuatik ke lingkungan darat. Embriophyta mencakup Bryophyta, Pteridophyta, dan Spermatophyta (tumbuhan berbiji). Perkembangan pembuluh angkut yaitu floem dan xilem serta sporofit independen mencirikan kelompok Tracheophyta yang mencakup Pteridophyta dan Spermatophyta. Pertumbuhan sekunder yang menghasilkan pembentukan kayu dan kemampuan menghasilkan berbiji membedakan kelompok tumbuhan berbiji. Evolusi terakhir dari tumbuhan yaitu pembentukan bunga, putik dan benang sari membedakan Angiospermae sebagai kelompok tumbuhan yang memiliki tingkat evolusi paling tinggi (Simpson, 2019).

7.2.6 Kingdom Fungi

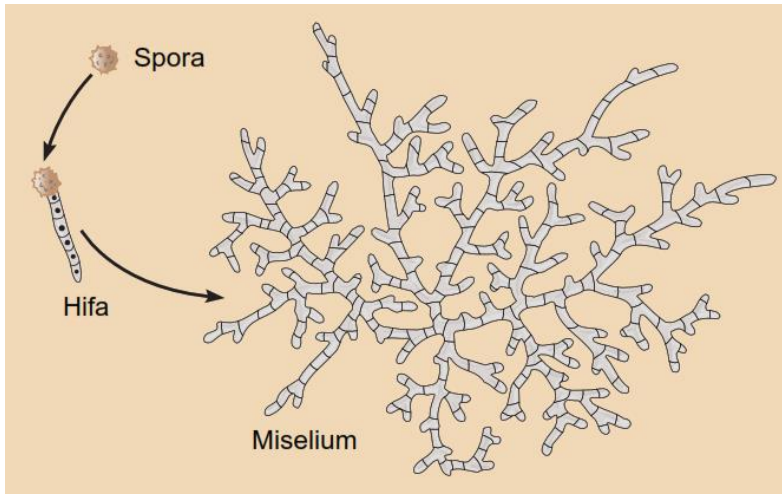
Jamur merupakan kelompok organisme yang diduga memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi. Jamur diperkirakan memiliki setidaknya 1,5 juta spesies yang berbeda, tetapi hanya sekitar 75.000 spesies (sekitar 5% dari total spesies jamur) yang telah dideskripsikan hingga saat ini. Hal ini membuat jamur menjadi salah satu keanekaragaman hayati yang paling sedikit dieksplorasi.

Semua jamur adalah eukariotik yang berarti bahwa jamur memiliki inti sel berkromosom yang terbungkus membran dan berbagai organel yang juga terbungkus membran. Karakteristik lain yang dimiliki oleh semua eukariota meliputi adanya aliran sitoplasma, DNA yang mengandung daerah non-kode yang disebut intron, membran yang biasanya mengandung sterol, dan ribosom tipe 80S yang berbeda dengan ribosom 70S pada bakteri ("S" mengacu pada unit Svedberg). Namun jamur biasanya memiliki inti haploid yang membedakannya dari

hampir semua eukariota lainnya. Akan tetapi hifa jamur sering kali memiliki beberapa inti di dalam hifanya, dan banyak ragi yang sedang bertunas adalah diploid.

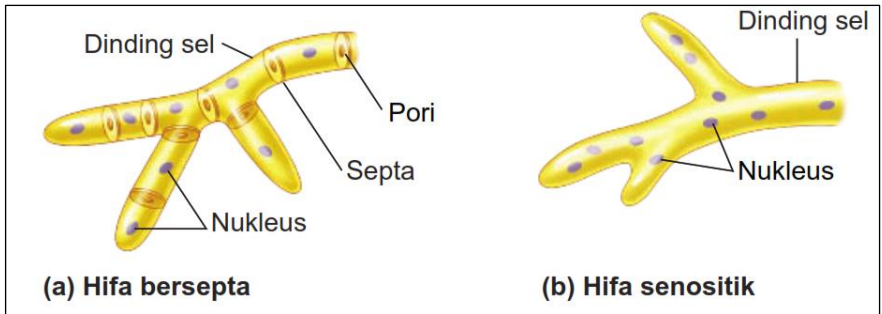
Jamur memiliki komponen dinding sel yang khas, yang biasanya terdiri dari kitin (polimer glukosa yang mengandung nitrogen) dan glukan (polimer glukosa dengan ikatan β -1,3 dan β -1,6). Selulosa rantai pendek (polimer glukosa dengan ikatan β -1,4) juga terdeteksi pada dinding sel beberapa spesies jamur, terutama pada jamur primitif. Namun kandungan selulosa pada dinding sel jamur berbeda dengan dinding sel pada tumbuhan yang kaya dengan selulosa (Deacon, 2006; Webster and Weber, 2007).

Jamur dapat dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan bentuk tubuhnya yaitu ragi dan kapang. Jamur yang paling sederhana adalah ragi yang bersel tunggal dengan bentuk bulat atau oval. Sebagian besar jamur adalah kapang dengan tubuh berbentuk benang-benang panjang bercabang yang disebut hifa. Hifa jamur ini berkembang dari spora uniseluler yang kemudian tumbuh membentuk benang-benang memanjang. Hifa jamur menunjukkan pertumbuhan apikal hanya pada bagian paling ujung dari hifa tersebut. Hifa ini bercabang berulang kali hingga membentuk jaringan yang disebut miselium (Gambar 7.4). Hifa merupakan bentuk adaptasi jamur untuk mendapatkan makanan. Hifa dapat tumbuh menyebar hingga membentuk area permukaan yang luas untuk menyerap makanan (Solomon, Berg and Martin, 2008).



Gambar 7. 4. Perkecambahan spora membentuk miselium
(Sumber: Solomon, Berg and Martin, 2008)

Umumnya hifa memiliki struktur yang cukup beragam pada jamur dengan taksonomi yang berbeda. Salah satu karakteristik yang membedakan dalam taksonomi jamur adalah ada atau tidaknya dinding penyekat atau septa. Septa dapat membagi hifa menjadi sel-sel individual yang mengandung satu atau lebih inti. Septa ini umumnya memiliki pori-pori yang cukup besar yang memungkinkan organel seperti ribosom dan mitokondria bahkan nukleus mengalir dari satu sel ke sel lainnya. Beberapa spesies jamur yang disebut jamur senositik tidak memiliki septa (Gambar 7.5). Pada spesies ini, pembelahan inti terjadi berulang-ulang, namun tidak diikuti oleh pembelahan sitoplasma. Akibatnya, jamur senositik adalah satu sel raksasa yang memanjang dan berinti banyak hingga ratusan atau ribuan inti (Webster and Weber, 2007; Solomon, Berg and Martin, 2008; Urry *et al.*, 2020).



Gambar 7. 5. Tipe-tipe hifa jamur
(Sumber: Urry *et al.*, 2020)

Jamur adalah organisme heterotrof yang tidak dapat menghasilkan bahan organik dari sumber karbon sederhana seperti tumbuhan. Jamur bergantung pada molekul karbon yang telah terbentuk sebelumnya yang diproduksi oleh organisme lain. Namun jamur tidak menelan makanan dan kemudian mencernanya di dalam tubuh seperti halnya hewan. Adanya dinding sel mencegah jamur menelan makanan dengan cara fagositosis. Pencernaan makan terjadi dengan cara hifa menyusup ke dalam sumber makanan, lalu ujung hifa mengeluarkan enzim depolimerase yang akan mendegradasi polimer kompleks menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana. Pencernaan ini terjadi di luar tubuh jamur. Ketika polimer kompleks ini telah dipecah menjadi senyawa yang lebih sederhana, jamur menyerap makanan tersebut ke dalam tubuhnya. Jamur dengan cepat mengubah nutrisi ini menjadi bahan pembentukan sel yang baru. Jika nutrisi tersedia dalam jumlah yang melimpah, jamur akan menyimpannya, biasanya dalam bentuk tetesan lipid atau glikogen (Deacon, 2006; Solomon, Berg and Martin, 2008).

Jamur berkembang biak secara seksual dan aseksual, dan biasanya menghasilkan spora. Spora adalah sel reproduktif yang dapat berkembang menjadi organisme baru. Pada sebagian besar kelompok jamur, spora bersifat nonmotil. Spora

disebarkan oleh angin, air, atau hewan. Spora biasanya diproduksi pada hifa udara khusus atau dalam struktur berbentuk buah (tubuh buah). Struktur tempat spora diproduksi disebut sporangium.

Jamur tumbuh paling baik pada habitat yang lembab, tetapi jamur juga dapat ditemukan di mana pun bahan organik tersedia. Jamur membutuhkan kelembapan untuk tumbuh. Ketika lingkungan menjadi kering, jamur bertahan hidup dengan masuk ke tahap istirahat atau dengan memproduksi spora yang tahan terhadap kekeringan.

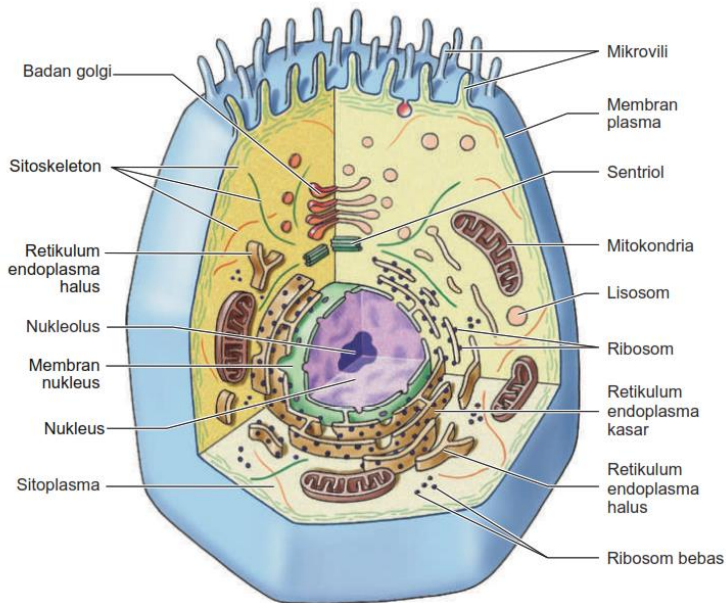
Jamur memiliki berbagai macam aktivitas dalam ekosistem. Sebagian besar jamur adalah pengurai yang memperoleh nutrisi dari bahan organik yang telah mati. Jamur adalah anggota ekosistem yang penting karena menguraikan senyawa organik yang ditemukan dalam organisme mati, dedaunan, sampah, dan limbah lainnya. Banyak jamur juga membentuk hubungan simbiosis yang penting dengan organisme lain. Contohnya sebagian besar tumbuhan darat memiliki jamur yang hidup bersimbiosis pada akarnya. Jamur membantu tumbuhan tersebut memperoleh ion fosfat dan mineral lain yang dibutuhkan dari tanah. Sebagai gantinya, tumbuhan menyediakan nutrisi organik bagi jamur. Beberapa jamur juga hidup bersimbiosis dengan ganggang dan cyanobacteria membentuk liken yang umum ditemukan pada pepohonan. Sebagian spesies jamur lainnya merupakan parasit dan patogen yang menyebabkan penyakit pada hewan atau tumbuhan (Solomon, Berg and Martin, 2008).

7.2.7 Kingdom Animalia

Para ahli biologi telah mengidentifikasi lebih dari 1,5 juta spesies hewan. Sekitar 15.000 hingga 20.000 spesies baru diberi nama setiap tahunnya. Namun para ahli menduga bahwa masih ada jutaan spesies hewan lainnya yang belum ditemukan dan diklasifikasikan. Para ahli juga memperkirakan bahwa sekitar

99% dari semua spesies hewan yang pernah menghuni bumi telah punah.

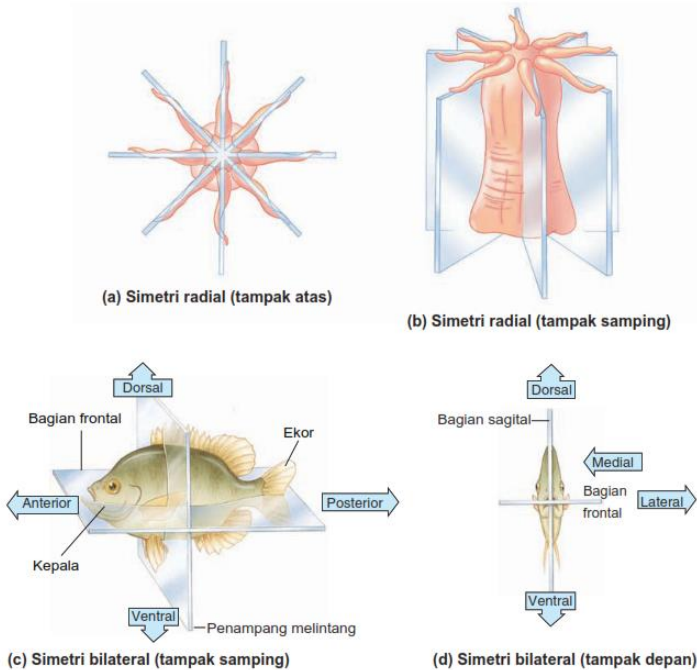
Hewan memiliki struktur morfologi yang sangat beragam, namun secara umum memiliki karakteristik dasar yang sama. Hewan merupakan eukariota multiseluler yang tubuhnya tersusun oleh banyak sel. Sel-sel ini memiliki struktur yang mirip dengan eukariota lainnya yaitu memiliki inti sel yang terbungkus membran dengan sejumlah organel sel yang melakukan fungsinya masing-masing secara terorganisir (Gambar 7.6).



Gambar 7. 6. Struktur sel hewan
(Sumber: Hickman *et al.*, 2020)

Hewan memiliki rancangan tubuh yang beragam. Istilah rancangan tubuh ini mengacu pada struktur dasar dan desain fungsional tubuh hewan tersebut. Rancangan tubuh hewan merupakan hasil evolusinya dalam memperoleh makanan dan

bereproduksi. Rancangan tubuh hewan ini antara lain simetri dan lapisan tubuh.

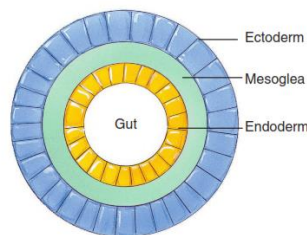


Gambar 7. 7. Simetri tubuh hewan
(Sumber: Solomon, Berg and Martin, 2008)

Simetri tubuh menggambarkan bagaimana bagian-bagian tubuh hewan tersusun mengelilingi suatu titik atau sumbu. Simetri tubuh terbagi menjadi asimetri, simetri radial, dan simetri bilateral. Asimetri atau tidak ada simetri menunjukkan bahwa tubuh hewan tersebut tidak memiliki titik pusat atau sumbu yang mengelilingi bagian tubuh yang terdistribusi secara merata. Asimetri menjadi ciri banyak porifera. Simetri radial adalah pengaturan bagian tubuh yang sedemikian rupa sehingga setiap bidang yang melewati titik pusat tubuh membagi hewan menjadi bayangan yang sama seperti cermin, contohnya pada ubur-ubur dan anemon laut (Gambar 7.7.a dan 7.7.b). Simetri bilateral atau simetri dua adalah pengaturan bagian tubuh yang

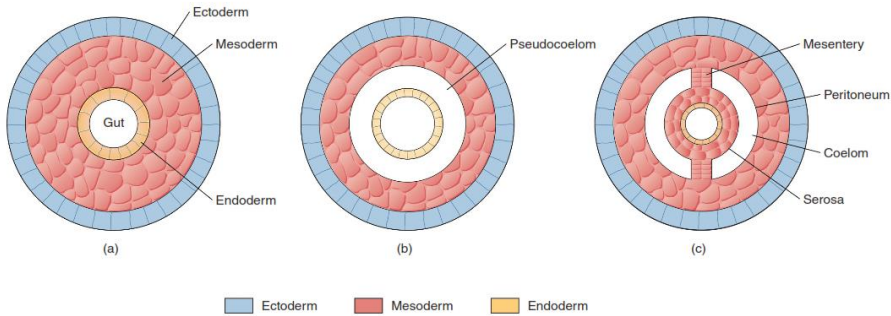
sedemikian rupa sehingga satu bidang yang melintas di antara bagian atas dan bawah hewan melalui sumbu memanjang membagi tubuh hewan tersebut menjadi bayangan cermin kanan dan kiri (Gambar 7.7c. dan 7.7.d). Simetri bilateral ini dimiliki oleh mayoritas hewan yang ada (Miller and Harley, 2016).

Rancangan tubuh hewan juga beragam berdasarkan lapisan penyusun tubuhnya. Berdasarkan jumlah lapisan tubuhnya, hewan dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu diploblastik dan triploblastik. Diploblastik (Yunani, *diplóos* berarti dua kali lipat; *blast* berarti bertunas) merupakan organisasi tingkat jaringan yang paling sederhana pada hewan. Bagian-bagian tubuh hewan diploblastik berasal dari dua lapisan jaringan embrionik yaitu ektoderm (Yunani, *ektos* berarti di luar; *derm* berarti kulit) dan endoderm (Yunani, *endo* berarti dalam). Ektoderm menghasilkan epidermis yang merupakan lapisan luar dinding tubuh dan endoderm menghasilkan gastrodermis yang merupakan jaringan yang melapisi rongga usus. Di antara epidermis dan gastrodermis terdapat lapisan tengah yang disebut mesoglea. Mesoglea ini dapat mengandung atau tidak mengandung sel seperti pada ubur-ubur atau kelompok Cnidaria lainnya (Gambar 7.8). Ketika ada sel, bagian ini disebut mesenkim, contohnya pada Porifera (Miller and Harley, 2016).



Gambar 7. 8. Rancangan tubuh diploblastik
(Sumber: Miller and Harley, 2016)

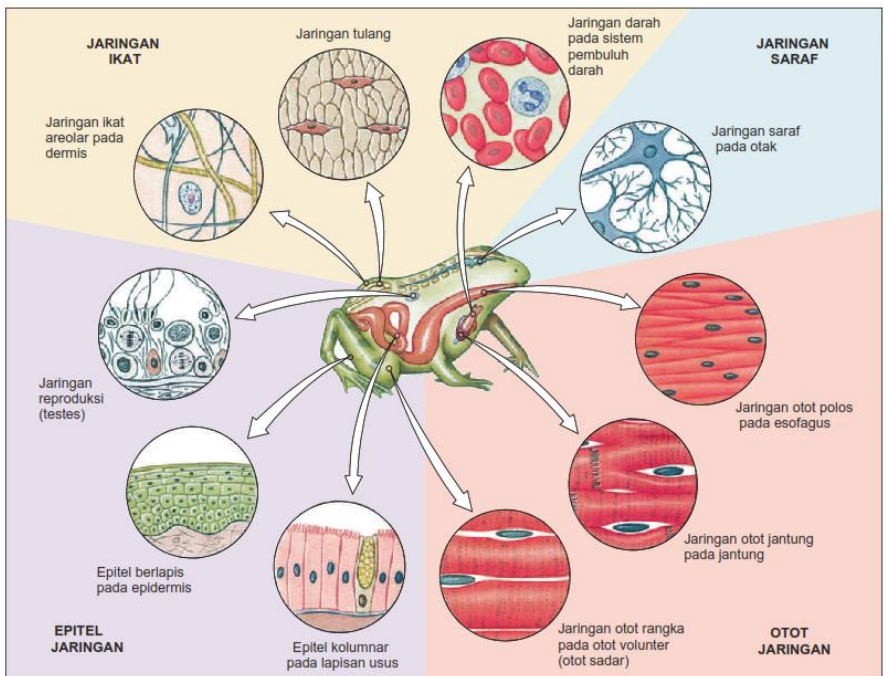
Hewan triploblastik yaitu hewan yang jaringan tubuhnya berasal dari tiga lapisan embriologis yaitu ektoderm yang membentuk lapisan luar dinding tubuh dan endoderm yang melapisi usus. Lapisan embriologis ketiga terdapat di antara ektoderm dan endoderm. Lapisan ini adalah mesoderm (Yunani, *meso* berarti di tengah) yang menghasilkan sel-sel pendukung seperti jaringan ikat dan darah. Triploblastik ini dapat dibagi lagi menjadi tiga kelompok yaitu triploblastik aselomata yang tidak memiliki rongga tubuh contohnya pada cacing pipih (Gambar 7.9.a), triploblastik pseudoselomata yang memiliki rongga tubuh semu karena rongga tubuhnya terdapat diantara lapisan mesoderm dan endoderm, contohnya pada nematoda (Gambar 7.9.b), dan triploblastik selomata yang memiliki rongga tubuh sejati karena rongga tubuh sepenuhnya terdapat pada lapisan mesoderm, contohnya pada annelida dan hewan-hewan tingkat atas lainnya (Gambar 7.9.c).



Gambar 7. 9. Rancangan tubuh triploblastik:
a) triploblastik aselomata; b) triploblastik pseudoselomata;
c) triploblastik selomata
 (Sumber: Miller and Harley, 2016)

Karakteristik tubuh hewan tidak hanya dicirikan oleh rancangan tubuhnya yang beragam, namun juga oleh kompleksitas sel-sel yang menyusun tubuh hewan tersebut. Sel-sel yang menyusun tubuh hewan tidak bekerja sendiri-sendiri,

kecuali hewan yang paling sederhana. Sel-sel ini tersusun membentuk jaringan, jaringan tersusun membentuk organ, dan organ-organ saling berinteraksi membentuk sistem organ. Pada hewan yang sederhana seperti Porifera, proses kehidupan seperti pertukaran gas dan pembuangan limbah dapat terjadi melalui difusi secara langsung ke dan dari lingkungan. Pada hewan yang lebih kompleks, sistem organ khusus telah berevolusi untuk melakukan sejumlah proses-proses kehidupan seperti sistem pencernaan, sistem pernapasan, sistem peredaran darah dan sistem organ lainnya (Gambar 7.10).



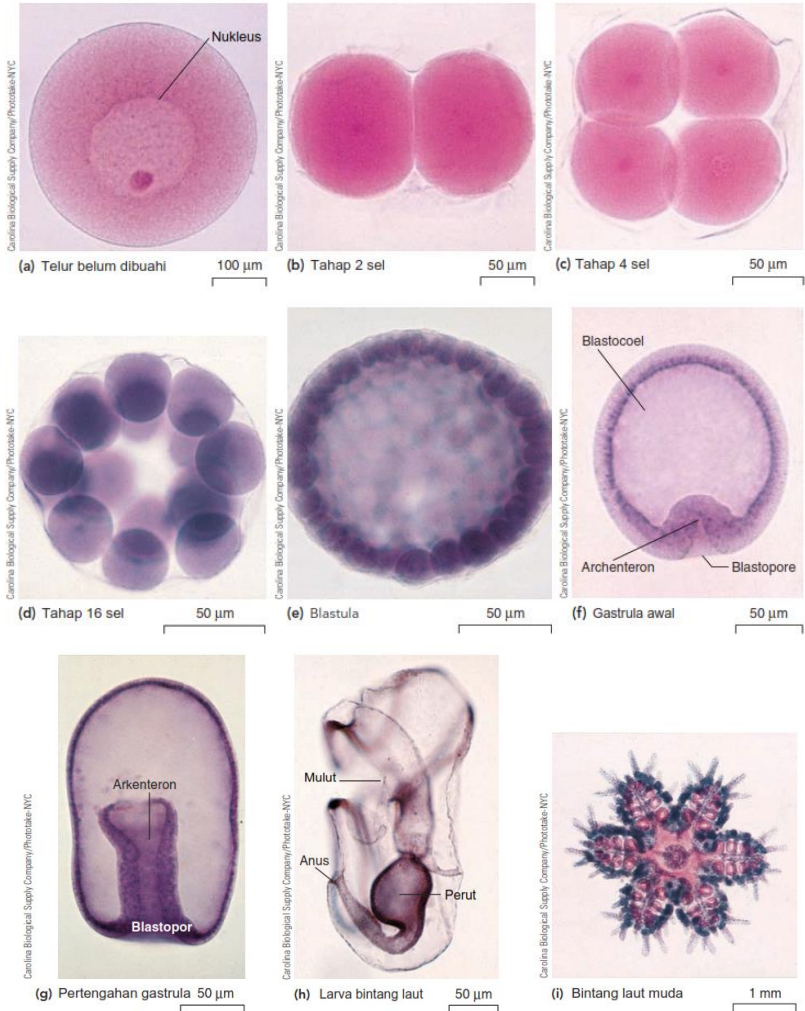
Gambar 7. 10. Kompleksitas jaringan pada hewan vertebrata
(Sumber: Hickman *et al.*, 2020)

Hewan merupakan organisme heterotrof yang tidak dapat menghasilkan makanannya sendiri, sehingga makanan harus diperoleh dari organisme lain. Hewan berperan sebagai konsumen yang memperoleh makanan dari produsen seperti

tumbuhan atau fitoplankton atau dari hewan lainnya. Hewan berbeda dengan jamur dalam cara mencerna makanannya. Jamur mencerna makannya di luar tubuh dengan bantuan enzim pencernaan, sedangkan hewan mencerna makanannya di dalam sistem pencernaan pada tubuh hewan tersebut. Sistem pencernaan hewan dapat berupa sistem pencernaan yang lengkap dengan adanya mulut, lambung, usus, dan anus ataupun tidak lengkap seperti pada Cnidaria atau Platyhelminthes yang belum memiliki anus untuk mengeluarkan sisa hasil pencernaannya, sehingga sisa pencernaan dikeluarkan kembali melalui mulut (Solomon, Berg and Martin, 2008).

Sebagian besar hewan adalah organisme diploid yang bereproduksi secara seksual, dengan sel telur yang besar dan tidak berflagel dan sperma yang kecil dan berflagel. Selama proses fertilisasi, sel sperma haploid menyatu dengan sel telur haploid, membentuk zigot (sel telur yang telah dibuahi). Zigot mengalami serangkaian pembelahan sel secara mitosis. Selama pembelahan, zigot berkembang menjadi bola berongga berisi sel-sel yang disebut blastula. Sel-sel blastula mengalami gastrulasi, sebuah proses pembentukan dan pemisahan lapisan jaringan tertentu, yang disebut lapisan germinal. Lapisan germinal ini terdiri atas ektoderm, endoderm maupun mesoderm yang akan menghasilkan jaringan-jaringan yang menyusun tubuh hewan (Gambar 7.11).

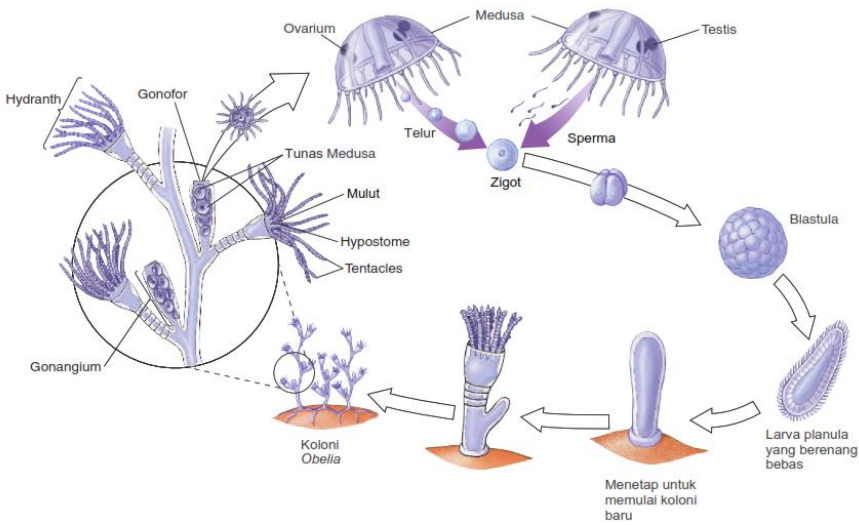
Penyibakan (*cleavage*) radial dan holoblastik pada bintang laut



Gambar 7. 11. Perkembangan bintang laut
(Sumber: Solomon, Berg and Martin, 2008)

Karakteristik khas dari hewan lainnya adalah kemampuannya untuk bergerak atau berpindah tempat dalam suatu waktu selama siklus hidupnya. Beberapa hewan contohnya pada spons dan *Obelia* (Cnidaria: Hydrozoa) yang hidup sesil atau melekat pada substrat saat dewasa dapat

bergerak secara aktif saat masih pada fase larva (Gambar 7.12). Larva adalah suatu bentuk yang belum matang secara seksual yang mungkin terlihat sangat berbeda secara morfologi dari hewan dewasa. Selain itu, larva berbeda dari hewan dewasa dalam banyak hal, termasuk tempat tinggalnya (habitatnya), cara bergerak, dan makanannya. Larva ini biasanya mengalami metamorfosis agar dapat berubah menjadi hewan dewasa (Solomon, Berg and Martin, 2008).



Gambar 7. 12. Siklus hidup *Obelia*

(Sumber: Hickman *et al.*, 2021)

DAFTAR PUSTAKA

- Cavalier-Smith, T. (1998) 'A Revised Six-kingdom System of Life', *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 73(3), pp. 203–266. Available at: <https://doi.org/10.1017/s0006323198005167>.
- Cavalier-Smith, T. (2018) 'Kingdom Chromista and its eight phyla: a new synthesis emphasising periplastid protein targeting, cytoskeletal and periplastid evolution, and ancient divergences', *Protoplasma*, 255(1), pp. 297–357. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00709-017-1147-3>.
- Deacon, J.W. (2006) *Fungal Biology*. 4th Editio. Massachusetts: Blackwell Publishing.
- Esko, J.D., Doering, T.L. and Raetz, C.R.H. (2009) 'Eubacteria and Archaea', in A. Varki et al. (eds) *Essentials of Glycobiology*. 2nd Editio. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK1945/>.
- Hickman, C.P. et al. (2020) *Integrated Principles of Zoology*. 18th Editi. New York: McGraw-Hill Education.
- Hickman, C.P. et al. (2021) *Animal Diversity*. 9th Editio. New York: McGraw Hill Higher Education.
- Kayser, F.H. et al. (2005) *Medical Microbiology*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Margulis, L. and Chapman, M.J. (2009) *Kingdoms & Domains: An Illustrated Guide to the Phyla of Life on Earth*. 4th Editio. Amsterdam: Academic Press/Elsevier.
- Miller, S.A. and Harley, J.P. (2016) *Zoology*. Tenth Edit. New York: McGraw-Hill Education.

- Simpson, M.G. (2019) *Plant Systematics*. 3rd Editio. Burlington, Massachusetts: Elsevier Academic Press.
- Singh, G. (2010) *Plant Systematics: An Integrated Approach*. 3rd Editio. New Hampshire: Science Publishers.
- Solomon, E.P., Berg, L.R. and Martin, D.W. (2008) *Biology*. 8th Editio. Belmont: Thomson Brooks/Cole.
- Sym, S.D. and Maneveldt, G.W. (2011) 'Chromista', *Encyclopedia of Life Sciences* [Preprint], (November 2011). Available at: <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0001960.pub2>.
- Taiz, L. and Zeiger, E. (2002) *Plant Physiology*. 3rd Editio. Sunderland: Sinauer Associates.
- Trivedi, P.C., Pandey, S. and Bhadauria, S. (2010) *Text Book of Microbiology*. Jaipur, India: Aavishkar Publishers.
- Urry, L.A. *et al.* (2020) *Campbell Biology*. Twelfth ed. New York: Pearson Education, Inc.
- Webster, J. and Weber, R. (2007) *Introduction to Fungi*. 3rd Editio. New York: Cambridge University Press.
- Yaeger, R.G. (1996) 'Protozoa: Structure, Classification, Growth, and Development', in S. Baron (ed.) *Medical Microbiology*. 4th Editio. Galveton, Texas: University of Texas Medical Branch. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK8325/>.

BAB 8

DASAR-DASAR EKOLOGI

Oleh Daawia

Ekologi adalah ilmu yang mempelajari interaksi antara organisme dengan lingkungannya. Dalam ekologi, kita memahami bagaimana organisme hidup berinteraksi satu sama lain dan dengan faktor lingkungan seperti tanah, air, udara, dan iklim. Tujuan utama ekologi adalah untuk memahami struktur, fungsi, distribusi, dan dinamika populasi organisme serta hubungannya dengan lingkungan tempat mereka hidup. Dengan memahami ekologi, kita dapat mengembangkan strategi untuk melindungi dan memelihara keanekaragaman hayati serta menjaga keseimbangan ekosistem.

Dasar-dasar ekologi mencakup konsep-konsep utama yang membentuk kerangka kerja bagi pemahaman tentang interaksi organisme dengan lingkungannya. Beberapa konsep dasar ekologi meliputi:

8.1 Populasi

Populasi dalam konteks ekologi merujuk pada sekelompok individu dari spesies yang sama yang mendiami daerah atau habitat tertentu pada waktu tertentu. Populasi adalah unit dasar dalam studi ekologi, dan memahami populasi membantu kita memahami bagaimana perubahan dalam lingkungan dan interaksi antarindividu mempengaruhi dinamika populasi itu sendiri. Berikut ini adalah uraian lebih rinci tentang populasi beserta contohnya:

Karakteristik Populasi:

1. **Komposisi:** Populasi terdiri dari individu-individu yang memiliki karakteristik serupa, seperti genetik, usia, dan jenis kelamin.
2. **Distribusi:** Populasi bisa tersebar secara seragam, berkumpul dalam kelompok-kelompok tertentu, atau didistribusikan secara acak di dalam suatu daerah.
3. **Kepadatan:** Merupakan jumlah individu per unit area atau volume. Kepadatan populasi dapat bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti ketersediaan sumber daya dan tekanan predasi.
4. **Pertumbuhan:** Populasi bisa mengalami pertumbuhan (kenaikan jumlah individu) atau penurunan (penurunan jumlah individu) seiring waktu.
5. **Faktor-faktor Regulasi:** Populasi dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti persaingan untuk sumber daya, predasi, penyakit, dan iklim.

Contoh Populasi:

1. **Populasi Burung Pintar (*Corvus splendens*):** Contohnya adalah populasi burung pintar di sebuah kota. Populasi ini mungkin terdiri dari banyak individu burung pintar yang mendiami area perkotaan tertentu. Mereka berkumpul dalam kelompok di taman-taman kota dan mencari sumber makanan di tempat-tempat seperti sampah domestik.
2. **Populasi Serigala Abu-Abu (*Canis lupus*):** Contohnya adalah populasi serigala abu-abu di hutan belantara. Populasi ini mungkin memiliki distribusi yang lebih jarang karena serigala abu-abu cenderung menyebar dalam kelompok kecil di daerah yang luas. Kepadatan populasi serigala abu-abu juga bisa dipengaruhi oleh ketersediaan mangsa seperti rusa dan kelinci.

- 3. Populasi Bakteri *E. coli*:** Contohnya adalah populasi bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*) di dalam usus manusia. Populasi ini terdiri dari jutaan bakteri yang hidup dalam saluran pencernaan manusia. Pertumbuhan dan kepadatan populasi bakteri *E. coli* dipengaruhi oleh kondisi lingkungan di dalam usus, seperti ketersediaan nutrisi dan keasaman.

Melalui studi populasi, para ilmuwan dapat memahami dinamika pertumbuhan, distribusi, dan interaksi antarindividu yang membentuk ekosistem yang kompleks.

8.2 Komunitas

Komunitas dalam ekologi merujuk pada sekelompok populasi yang berbeda dari berbagai spesies yang mendiami daerah atau habitat tertentu pada waktu yang sama. Komunitas adalah bagian yang penting dari struktur ekosistem dan memainkan peran penting dalam interaksi antarorganisme di dalamnya. Berikut adalah uraian lebih rinci tentang komunitas beserta contohnya:

Karakteristik Komunitas:

- 1. Keanekaragaman Spesies:** Komunitas dapat memiliki berbagai spesies yang berbeda, termasuk tanaman, hewan, jamur, dan mikroorganisme, yang memiliki peran masing-masing dalam ekosistem.
- 2. Interaksi Antar-Spesies:** Anggota komunitas sering berinteraksi satu sama lain melalui hubungan seperti predasi, kompetisi, simbiosis, dan mutualisme.
- 3. Struktur Trofik:** Anggota komunitas dikelompokkan berdasarkan peran mereka dalam rantai makanan atau jaring-jaring makanan, seperti produsen, konsumen primer, konsumen sekunder, dan dekomposer.

4. **Distribusi dan Kepadatan:** Komunitas dapat memiliki pola distribusi yang berbeda di dalam habitat, dan kepadatan populasi mungkin bervariasi antara spesies yang berbeda dalam komunitas tersebut.
5. **Dinamika Populasi:** Perubahan dalam jumlah dan komposisi populasi spesies dalam komunitas seiring waktu dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan dan interaksi antarorganisme.

Contoh Komunitas:

1. **Hutan Hujan Tropis:** Contohnya adalah komunitas hutan hujan tropis di Amazon. Komunitas ini mungkin terdiri dari berbagai spesies pohon, tumbuhan epifit, mamalia seperti monyet dan kancil, burung-burung berwarna-warni, serangga, dan organisme lainnya yang hidup bersama-sama dalam lingkungan yang lebat dan beragam.
2. **Rumput Laut di Terumbu Karang:** Contohnya adalah komunitas rumput laut yang hidup di terumbu karang. Komunitas ini terdiri dari berbagai spesies rumput laut, ikan-ikan kecil, kerang, dan organisme lain yang saling bergantung dalam ekosistem terumbu karang yang produktif.
3. **Padang Rumput Savana:** Contohnya adalah komunitas padang rumput savana di Afrika. Komunitas ini mungkin terdiri dari berbagai spesies rumput, jerapah, zebra, singa, dan predator lainnya yang hidup bersama-sama di habitat terbuka yang luas.

Melalui studi komunitas, ilmuwan dapat memahami bagaimana interaksi antarorganisme memengaruhi keanekaragaman hayati, stabilitas ekosistem, dan fungsi ekologi yang penting bagi kehidupan di Bumi.

8.3 Ekosistem

Ekosistem merupakan suatu unit fungsional dalam ekologi yang terdiri dari komunitas biologis yang beragam bersama dengan lingkungannya yang fisik, termasuk faktor-faktor abiotik seperti tanah, air, udara, cahaya matahari, dan iklim. Ekosistem mencakup interaksi kompleks antara organisme hidup dan komponen-komponen non-hidup dalam suatu daerah atau habitat tertentu. Berikut ini adalah uraian detail tentang ekosistem beserta contohnya:

Karakteristik Ekosistem:

1. **Komponen Biologis:** Termasuk semua organisme hidup dalam ekosistem, seperti tumbuhan, hewan, mikroorganisme, dan organisme lainnya yang membentuk komunitas biologis.
2. **Komponen Abiotik:** Meliputi faktor-faktor non-hidup dalam ekosistem, seperti tanah, air, udara, iklim, cahaya matahari, dan geologi, yang memberikan kerangka fisik dan kondisi lingkungan bagi kehidupan.
3. **Hubungan Timbal-balik:** Organisme hidup dan komponen abiotik saling berinteraksi satu sama lain dalam ekosistem, membentuk jaringan hubungan yang kompleks dan saling memengaruhi.
4. **Siklus Biogeokimia:** Unsur-unsur penting seperti karbon, nitrogen, fosfor, dan air beredar dalam ekosistem melalui siklus biogeokimia, melibatkan interaksi antara organisme hidup dan komponen-komponen non-hidup.
5. **Struktur Trofik:** Ekosistem memiliki struktur trofik yang mencerminkan aliran energi dan nutrisi melalui rantai makanan atau jaring-jaring makanan, termasuk produsen, konsumen, dan dekomposer.

Contoh Ekosistem:

- 1. Hutan Boreal:** Ekosistem hutan boreal terdiri dari komunitas pohon-pohon cemara, pinus, dan hemlock, bersama dengan berbagai hewan seperti rusa, beruang, serigala, dan burung-burung pemangsa. Tanahnya kaya akan lumut dan jamur, dan ekosistem ini dipengaruhi oleh suhu dingin, curah hujan yang rendah, dan musim yang jelas.
- 2. Sawah Padi:** Ekosistem sawah padi terdiri dari komunitas tanaman padi, ikan-ikan seperti lele dan nila yang hidup di sawah, serta organisme tanah seperti cacing dan mikroorganisme. Ekosistem ini juga dipengaruhi oleh air irigasi, cahaya matahari, dan pengelolaan manusia.
- 3. Terumbu Karang:** Ekosistem terumbu karang adalah kompleksnya jaringan hayati yang terdiri dari karang batu, berbagai spesies ikan, kerang, dan hewan-hewan lain yang hidup di antara karang. Lingkungan fisiknya terdiri dari air laut yang hangat, sinar matahari yang kuat, dan arus laut yang beragam.

Studi ekosistem membantu kita memahami bagaimana organisme hidup berinteraksi dengan lingkungannya dan bagaimana ekosistem tersebut berfungsi secara keseluruhan. Melalui pemahaman ini, kita dapat mengembangkan strategi untuk melestarikan dan mengelola ekosistem dengan lebih baik untuk keberlanjutan lingkungan.

8.4 Biotik vs. Abiotik

Biotik dan abiotik adalah dua komponen utama dalam ekosistem yang memainkan peran penting dalam menentukan dinamika dan keberlanjutan lingkungan. Berikut ini adalah uraian detail tentang biotik dan abiotik, serta contohnya:

Biotik:

Biotik merujuk pada komponen lingkungan yang hidup atau organisme hidup yang memengaruhi ekosistem. Ini mencakup semua makhluk hidup, baik itu tumbuhan, hewan, jamur, bakteri, maupun manusia. Komponen biotik dalam ekosistem berinteraksi satu sama lain dalam rantai makanan, kompetisi untuk sumber daya, serta dalam hubungan simbiosis seperti mutualisme, parasitisme, dan komensalisme.

Contoh Biotik:

1. **Tumbuhan:** Contohnya adalah pohon, rumput, semak, dan berbagai jenis tumbuhan lainnya yang menjadi produsen utama dalam rantai makanan.
2. **Hewan:** Contohnya adalah mamalia, burung, ikan, serangga, dan reptil yang membentuk berbagai tingkat konsumen dalam rantai makanan.
3. **Jamur:** Contohnya adalah jamur yang dapat berperan sebagai pengurai, dekomposer, atau bahkan sebagai simbiot dalam hubungan mutualisme.
4. **Bakteri:** Contohnya adalah bakteri yang hidup di tanah, air, atau di dalam tubuh makhluk hidup lainnya, memiliki peran penting dalam siklus biogeokimia dan dalam proses dekomposisi.

Abiotik:

Abiotik merujuk pada komponen non-hidup dalam ekosistem yang meliputi semua unsur fisik dan kimia yang memengaruhi kehidupan organisme. Ini termasuk tanah, air, udara, cahaya matahari, suhu, kelembaban, angin, dan faktor-faktor lingkungan lainnya. Komponen abiotik memainkan peran penting dalam menentukan distribusi, keanekaragaman, dan interaksi antarorganisme dalam ekosistem.

Contoh Abiotik:

1. **Tanah:** Contohnya adalah lapisan tanah yang mengandung mineral, bahan organik, air, dan udara yang menjadi tempat hidup bagi berbagai organisme, serta menyediakan nutrisi untuk tumbuhan.
2. **Air:** Contohnya adalah air dalam bentuk sungai, danau, laut, dan air tanah yang menjadi sumber kehidupan bagi berbagai organisme, serta berperan dalam proses metabolisme dan transportasi zat-zat dalam tubuh mereka.
3. **Udara:** Contohnya adalah atmosfer yang terdiri dari campuran gas-gas seperti oksigen, nitrogen, karbon dioksida, dan uap air, yang penting bagi respirasi organisme dan dalam pengaturan suhu tubuh.
4. **Cahaya Matahari:** Contohnya adalah sumber energi utama bagi kehidupan di Bumi yang digunakan dalam fotosintesis oleh tumbuhan untuk menghasilkan makanan dan dalam proses metabolisme oleh organisme lainnya.

Memahami perbedaan antara biotik dan abiotik serta bagaimana keduanya saling berinteraksi dalam ekosistem membantu kita dalam memahami dinamika dan keseimbangan lingkungan.

8.5 Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati merujuk pada jumlah dan variasi spesies yang ada dalam suatu komunitas atau ekosistem. Ini mencakup keragaman genetik dalam spesies yang sama, keragaman spesies di antara komunitas yang berbeda, serta keragaman habitat tempat spesies hidup. Keanekaragaman hayati sangat penting untuk stabilitas dan fungsi ekosistem, serta untuk keberlanjutan lingkungan secara keseluruhan. Berikut ini adalah uraian detail tentang keanekaragaman hayati beserta contohnya:

Komponen Keanekaragaman Hayati:

- 1. Keragaman Spesies:** Merujuk pada jumlah spesies yang berbeda dalam suatu komunitas atau ekosistem. Semakin banyak spesies yang ada, semakin tinggi tingkat keanekaragaman hayati.
- 2. Keragaman Genetik:** Merujuk pada variasi genetik yang ada di dalam spesies yang sama. Ini mencakup variasi dalam gen dan alel yang menghasilkan perbedaan dalam sifat-sifat fenotipik individu.
- 3. Keragaman Habitat:** Merujuk pada beragamnya lingkungan fisik yang tersedia dalam suatu ekosistem, seperti hutan, padang rumput, rawa-rawa, sungai, dan terumbu karang. Semakin beragam habitatnya, semakin tinggi keanekaragaman hayatinya.

Manfaat Keanekaragaman Hayati:

- 1. Stabilitas Ekosistem:** Keanekaragaman hayati membantu menjaga keseimbangan ekosistem dan meningkatkan kemampuan ekosistem untuk pulih dari gangguan atau perubahan lingkungan.
- 2. Ketersediaan Sumber Daya:** Keanekaragaman hayati menyediakan berbagai sumber daya alami, termasuk makanan, obat-obatan, serat, dan bahan baku lainnya yang penting bagi kehidupan manusia.
- 3. Produktivitas Ekosistem:** Keanekaragaman hayati meningkatkan produktivitas ekosistem karena adanya interaksi kompleks antara spesies-spesies yang berbeda.
- 4. Resistensi Terhadap Penyakit dan Hama:** Keanekaragaman hayati membantu dalam mempertahankan ketahanan terhadap penyakit dan hama dengan adanya variasi genetik dalam spesies yang memungkinkan adaptasi terhadap tekanan biotik.

Contoh Keanekaragaman Hayati:

1. **Hutan Hujan Amazon:** Hutan hujan Amazon adalah salah satu ekosistem paling beragam di dunia dengan ribuan spesies tumbuhan dan hewan yang unik, termasuk spesies langka seperti jaguar, tapir, dan bunga bromelia.
2. **Terumbu Karang Great Barrier Reef:** Terumbu karang Great Barrier Reef di Australia adalah salah satu ekosistem laut yang paling beragam, dengan ratusan spesies karang, ikan, moluska, dan makhluk hidup lainnya yang hidup dalam lingkungan yang berbeda-beda.
3. **Padang Rumput Serengeti:** Padang rumput Serengeti di Afrika Timur adalah rumah bagi berbagai spesies mamalia besar seperti singa, jerapah, gajah, dan zebra, serta beragam spesies burung dan reptil.

Keanekaragaman hayati adalah salah satu aset paling berharga di planet ini dan penting untuk dilestarikan dan dijaga demi keseimbangan ekosistem dan keberlanjutan lingkungan.

8.6 Interaksi Antar-Spesies

Interaksi antar-spesies merujuk pada hubungan dan interaksi yang terjadi antara spesies-spesies yang berbeda dalam suatu ekosistem. Interaksi ini dapat bervariasi mulai dari kompetisi untuk sumber daya, predasi, hingga kerjasama dalam simbiosis. Berikut adalah uraian detail tentang interaksi antar-spesies beserta contohnya:

1. Kompetisi

Kompetisi terjadi ketika dua atau lebih spesies bersaing untuk sumber daya yang terbatas, seperti makanan, ruang hidup, atau pasangan untuk berkembang biak. Kompetisi dapat mempengaruhi distribusi dan kelimpahan populasi di dalam ekosistem.

Contoh Kompetisi:

- Kompetisi antara dua spesies burung pengicau yang bersaing untuk sumber makanan yang sama di hutan.
- Kompetisi antara dua spesies tanaman yang bersaing untuk cahaya matahari dan nutrisi di habitat yang terbatas.

2. Predasi

Predasi terjadi ketika satu spesies memangsa spesies lain untuk mendapatkan makanan. Hubungan predator-mangsa ini umumnya memiliki efek penting dalam mengendalikan populasi dan menjaga keseimbangan ekosistem.

Contoh Predasi:

- Singa yang memburu dan memangsa zebra di padang rumput Afrika.
- Burung elang yang memangsa ikan dari permukaan air di sungai atau danau.

3. Simbiosis

Simbiosis adalah hubungan antara dua spesies yang hidup bersama dalam jangka waktu yang lama, yang dapat menguntungkan kedua belah pihak (mutualisme), menguntungkan satu pihak dan tidak menguntungkan yang lain (parasitisme), atau menguntungkan satu pihak dan tidak memiliki efek pada yang lain (komensalisme).

Contoh Simbiosis

- Mutualisme: Hubungan antara tanaman legum dan bakteri rhizobia di akar tanaman yang membantu dalam fiksasi nitrogen.
- Parasitisme: Parasit seperti kutu yang hidup di tubuh hewan inangnya dan memperoleh nutrisi dari darah atau jaringan inang tersebut.

- Komensalisme: Burung jalak yang mendapatkan perlindungan dari pemangsa ketika berdiam di punggung kerbau, sementara kerbau tidak terpengaruh.

4. Amensalisme

Amensalisme adalah jenis interaksi antar-spesies di mana satu spesies memberikan dampak negatif pada spesies lain, sementara tidak mendapatkan manfaat atau dampak apa pun dari interaksi tersebut.

Contoh Amensalisme:

- Pohon besar yang menutupi cahaya matahari, mengurangi kemampuan tumbuhan di bawahnya untuk melakukan fotosintesis.
- Bakteri yang mengeluarkan senyawa kimia yang meracuni tanaman di sekitarnya, menghambat pertumbuhan dan perkembangan mereka.

Interaksi antar-spesies merupakan bagian integral dari dinamika ekosistem dan memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan dan stabilitas ekosistem secara keseluruhan.

8.7 Siklus Biogeokimia

Siklus biogeokimia adalah perjalanan unsur-unsur kimia melalui berbagai komponen dalam lingkungan, termasuk komponen biologis (organisme hidup) dan komponen abiotik (faktor non-hidup seperti air, tanah, udara). Proses ini penting dalam menjaga ketersediaan unsur kimia esensial bagi kehidupan di Bumi. Beberapa siklus biogeokimia yang penting meliputi siklus air, siklus karbon, siklus nitrogen, dan siklus fosfor.

Berikut adalah uraian detail tentang siklus biogeokimia beserta contohnya:

1. Siklus Air

Siklus air adalah perjalanan air melalui berbagai fase di Bumi, termasuk evaporasi, kondensasi, presipitasi, infiltrasi, dan aliran permukaan. Air bergerak melalui lingkungan hidrosfir dan terestrial, dan perubahan fisiknya memainkan peran penting dalam mempengaruhi iklim dan menyediakan sumber air bagi kehidupan.

Contoh Siklus Air:

- Proses penguapan air dari permukaan laut, danau, dan sungai.
- Pembentukan awan melalui kondensasi uap air di atmosfer.
- Presipitasi hujan atau salju ke permukaan bumi.
- Air yang meresap ke dalam tanah dan menjadi sumber air tanah.
- Aliran permukaan air kembali ke lautan melalui sungai, danau, dan saluran air lainnya.

2. Siklus Karbon

Siklus karbon melibatkan perpindahan karbon antara atmosfer, litosfer, hidrosfer, dan biosfer. Karbon terkandung dalam berbagai bentuk, termasuk karbon dioksida (CO_2), biomassa organik, dan karbonat dalam batuan.

Contoh Siklus Karbon:

- Fotosintesis oleh tumbuhan yang mengubah karbon dioksida menjadi glukosa.
- Respirasi oleh organisme yang mengeluarkan karbon dioksida kembali ke atmosfer.

- Dekomposisi bahan organik oleh bakteri dan fungi yang mengeluarkan karbon dioksida.
- Pembakaran bahan bakar fosil yang melepaskan karbon dioksida ke atmosfer.

3. Siklus Nitrogen

Siklus nitrogen melibatkan perpindahan nitrogen dalam berbagai bentuk, termasuk gas nitrogen (N_2), amonium (NH_4^+), nitrat (NO_3^-), dan nitrit (NO_2^-), antara atmosfer, tanah, dan organisme hidup.

Contoh Siklus Nitrogen:

- Fiksasi nitrogen oleh bakteri tanah yang mengubah nitrogen atmosfer menjadi senyawa yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan.
- Penyerapan amonium dan nitrat oleh tumbuhan untuk pertumbuhan dan perkembangan.
- Denitrifikasi oleh bakteri yang mengubah nitrat kembali menjadi nitrogen gas dan melepaskannya ke atmosfer.
- Proses dekomposisi yang menghasilkan amonium yang tersedia bagi organisme lain.

4. Siklus Fosfor

Siklus fosfor melibatkan perpindahan fosfor antara batuan, tanah, air, dan organisme hidup. Fosfor merupakan komponen penting dalam DNA, RNA, ATP, dan membran sel.

Contoh Siklus Fosfor:

- Erosi batuan fosfat oleh air yang membawa fosfor ke dalam tanah.
- Penyerapan fosfor oleh tanaman dari tanah untuk pertumbuhan dan perkembangan.

- Konsumsi tumbuhan oleh hewan yang mentransfer fosfor ke rantai makanan.
- Proses dekomposisi yang mengeluarkan fosfor dari bahan organik kembali ke tanah.

Siklus biogeokimia adalah proses yang penting dalam menjaga ketersediaan unsur-unsur penting bagi kehidupan di Bumi dan mengatur berbagai proses ekologis dalam ekosistem.

8.8 Kapasitas Toleransi

Kapasitas toleransi merujuk pada rentang kondisi lingkungan yang dapat ditoleransi oleh suatu organisme tanpa mengalami dampak yang signifikan pada kelangsungan hidup dan reproduksi. Setiap organisme memiliki batas atas dan batas bawah toleransi terhadap faktor-faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, pH, cahaya, dan ketersediaan nutrisi. Kapasitas toleransi adalah salah satu faktor yang menentukan distribusi dan kelimpahan suatu spesies di dalam ekosistem. Berikut adalah uraian detail tentang kapasitas toleransi beserta contohnya:

Karakteristik Kapasitas Toleransi:

- 1. Rentang Toleransi:** Setiap organisme memiliki rentang kondisi lingkungan yang dapat ditoleransi. Rentang ini mencakup suatu nilai optimal di mana organisme berkinerja paling baik, serta batas atas dan batas bawah di mana organisme dapat bertahan hidup.
- 2. Faktor-faktor Lingkungan:** Kapasitas toleransi dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, termasuk suhu, kelembaban, ketersediaan air, pH tanah atau air, tingkat cahaya, ketersediaan nutrisi, dan faktor-faktor lainnya.
- 3. Pengaruh Interaksi:** Kapasitas toleransi juga dapat dipengaruhi oleh interaksi antara faktor-faktor lingkungan

yang berbeda. Misalnya, organisme mungkin lebih toleran terhadap suhu yang ekstrem jika ketersediaan air mencukupi.

Contoh Kapasitas Toleransi:

- 1. Toleransi Suhu:** Misalnya, beberapa spesies ikan dapat hidup di perairan yang sangat dingin seperti es laut di kutub utara, sementara spesies lain lebih memilih perairan yang lebih hangat seperti sungai tropis.
- 2. Toleransi Ketinggian:** Spesies tumbuhan tertentu mungkin dapat tumbuh di ketinggian tinggi di pegunungan, sementara spesies lain lebih suka di dataran rendah.
- 3. Toleransi pH:** Misalnya, bakteri asamofilik dapat bertahan hidup dalam lingkungan yang sangat asam, seperti tambang tailing, sementara organisme lain lebih sensitif terhadap perubahan pH.
- 4. Toleransi Kelembaban:** Kaktus dan tanaman gurun lainnya memiliki kapasitas toleransi yang tinggi terhadap kekeringan dan dapat bertahan hidup dalam kondisi kelembaban yang rendah.
- 5. Toleransi Cahaya:** Tanaman hijau yang tumbuh di bawah kanopi hutan memiliki kapasitas toleransi yang rendah terhadap cahaya intensitas tinggi, sementara tanaman hutan hujan yang tumbuh di kanopi memiliki kapasitas toleransi yang tinggi terhadap naungan.

Kapasitas toleransi adalah penting dalam memahami distribusi dan kelimpahan organisme dalam ekosistem dan dapat digunakan untuk memprediksi respons organisme terhadap perubahan lingkungan yang diakibatkan oleh faktor-faktor seperti perubahan iklim dan aktivitas manusia.

8.9 Suksesi Ekologis

Suksesi ekologis adalah proses perubahan dalam komposisi spesies dan struktur ekosistem dari waktu ke waktu, sebagai respons terhadap perubahan kondisi lingkungan atau interaksi antara spesies-spesies dalam ekosistem. Suksesi ekologis dapat terjadi dalam dua bentuk utama: suksesi primer dan suksesi sekunder. Berikut adalah uraian detail tentang suksesi ekologis beserta contohnya:

1. Suksesi Primer

Suksesi primer terjadi di area yang sebelumnya tidak memiliki kehidupan, seperti lahan yang baru terbentuk akibat letusan gunung berapi atau pengendapan pasir di pantai. Proses ini dimulai dengan kolonisasi oleh organisme pertama yang mampu bertahan di lingkungan tersebut, yang kemudian memberi jalan bagi kolonisasi oleh organisme lain yang lebih kompleks.

Contoh Suksesi Primer:

- **Letusan Gunung Berapi:** Misalnya, setelah letusan gunung berapi, lahan baru yang dihasilkan oleh lava mungkin terdiri dari substrat bebatuan yang steril. Kolonisasi pertama bisa berupa lumut dan tumbuhan pionir seperti rerumputan.
- **Pengendapan Pasir di Pantai:** Di daerah pantai, pengendapan pasir baru bisa menjadi tempat untuk pertumbuhan tumbuhan pionir seperti rumput pantai dan semak belukar, yang kemudian memberi jalan bagi pertumbuhan pohon-pohon pantai dan pembentukan hutan.

2. Suksesi Sekunder

Suksesi sekunder terjadi di area yang sebelumnya telah mengalami gangguan atau kerusakan, seperti hutan yang ditebang atau lahan yang terkena kebakaran. Proses ini dimulai dengan kolonisasi oleh organisme yang tersisa atau datang dari lingkungan sekitar, dan kemudian terjadi pergantian komposisi spesies menuju kondisi yang lebih stabil.

Contoh Suksesi Sekunder:

- **Hutan yang Ditebang:** Setelah penebangan hutan, lahan yang ditinggalkan mungkin diawali oleh pertumbuhan semak belukar dan pionir seperti akasia atau pohon pinus. Seiring waktu, spesies yang lebih tahan lama seperti eukaliptus atau pohon kayu keras dapat mengambil alih.
- **Lahan yang Terbakar:** Setelah kebakaran hutan, lahan yang terbakar mungkin terlebih dahulu dikuasai oleh tumbuhan pionir seperti rumput liar dan semak belukar. Kemudian, pohon-pohon hutan yang tahan api seperti pinus bisa tumbuh kembali, diikuti oleh tumbuhan kayu keras dan pohon-pohon pionir yang lebih besar.

Suksesi ekologis adalah proses alami yang penting dalam pembentukan dan pemeliharaan keanekaragaman hayati serta stabilitas ekosistem. Melalui suksesi, ekosistem dapat pulih dari gangguan dan beradaptasi terhadap perubahan lingkungan, menciptakan kondisi yang sesuai untuk berbagai bentuk kehidupan.

8.10 Piramida Ekologi

Piramida ekologi adalah representasi grafis dari struktur trofik dalam suatu ekosistem, yang menunjukkan transfer energi antara tingkat trofik yang berbeda. Piramida ini mengilustrasikan hubungan antara produsen, konsumen primer, konsumen sekunder, dan dekomposer dalam rantai makanan atau jaring-jaring makanan. Ada tiga jenis piramida ekologi: piramida energi, piramida biomassa, dan piramida jumlah individu. Berikut adalah uraian detail tentang piramida ekologi beserta contohnya:

1. Piramida Energi

Piramida energi menggambarkan jumlah energi yang tersedia pada setiap tingkat trofik dalam ekosistem. Energi dalam ekosistem diperoleh melalui fotosintesis oleh produsen dan kemudian ditransfer melalui rantai makanan ke konsumen lainnya.

Contoh Piramida Energi:

- Di hutan, pohon-pohon besar dan tumbuhan hijau merupakan produsen yang menyerap energi matahari melalui fotosintesis. Konsumen primer seperti rusa atau insekta herbivora mengkonsumsi tumbuhan untuk mendapatkan energi. Konsumen sekunder seperti singa atau serigala kemudian memakan konsumen primer. Piramida energi ini menunjukkan bahwa jumlah energi yang tersedia pada tingkat konsumen sekunder lebih rendah daripada pada tingkat konsumen primer, karena sebagian besar energi hilang dalam bentuk panas saat energi dialihkan dari satu tingkat trofik ke tingkat trofik berikutnya.

2. Piramida Biomassa

Piramida biomassa menggambarkan jumlah biomassa (massa organisme hidup) yang terakumulasi pada setiap tingkat trofik dalam ekosistem. Biomassa diukur dalam satuan berat seperti gram per meter persegi atau ton per hektar.

Contoh Piramida Biomassa:

- Di lautan, fitoplankton merupakan produsen utama yang mendominasi biomassa pada tingkat trofik pertama. Zooplankton, ikan kecil, dan krustasea kemudian mengkonsumsi fitoplankton sebagai konsumen primer. Ikan-ikan besar, paus, dan predator laut lainnya merupakan konsumen sekunder. Piramida biomassa ini menunjukkan bahwa biomassa pada tingkat produsen jauh lebih besar daripada biomassa pada tingkat konsumen primer, dan biomassa pada tingkat konsumen primer lebih besar daripada pada tingkat konsumen sekunder.

3. Piramida Jumlah Individu

Piramida jumlah individu menggambarkan jumlah individu yang ada pada setiap tingkat trofik dalam ekosistem. Ini mencerminkan jumlah individu yang berpartisipasi dalam aliran energi dan materi melalui rantai makanan.

Contoh Piramida Jumlah Individu:

- Di hutan, jumlah pohon dan tumbuhan produsen umumnya lebih sedikit daripada jumlah hewan herbivora yang mengkonsumsinya, seperti rusa atau kelinci. Kemudian, jumlah predator atau hewan karnivora yang memakan hewan herbivora akan lebih sedikit lagi dibandingkan dengan jumlah hewan herbivora. Piramida jumlah individu ini menunjukkan

bahwa jumlah individu pada tingkat produsen lebih sedikit daripada pada tingkat konsumen primer, dan jumlah individu pada tingkat konsumen primer lebih sedikit daripada pada tingkat konsumen sekunder.

Piramida ekologi memberikan wawasan yang penting tentang struktur dan fungsi ekosistem, serta interaksi antara organisme dalam rantai makanan. Ini juga membantu ilmuwan dan ahli ekologi dalam memahami dinamika populasi, aliran energi, dan stabilitas ekosistem.

Memahami dasar-dasar ekologi membantu kita dalam mengidentifikasi pola dan proses di alam, meramalkan dampak perubahan lingkungan, serta merancang strategi konservasi yang efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Biggs, A., Kapicka, C.L., Hagins, W.C., Holliday, W., Lundgren, L. (2005). *Biology*. California: Glencoe Science.
- Campbell, N.A., Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, P.V., and Jackson, R.B. (2008). *Biology*, eight edition. San Fransisco: Pearson Benjamin Cummings.
- Gayyar, M.A. (2012). *General biology, for first level students: Lecture notes*. University of Science and Technology.
- Muhartini, S. (2003). *Buku Ajar; Dasar-dasar Ekologi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Odum, E.P. (1998). *Dasar-dasar Ekologi*, edisi ketiga (terjemahan dari versi Inggris). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Robinson, R. (2002). *Biology*. New York: Macmillan Reference USA. Referensi dari Internet terkait dengan materi.

BAB 9

EKOLOGI VEGETASI

Oleh Silfia Ilma

9.1 Pendahuluan

Ekologi vegetasi merupakan studi mengenai struktur vegetasi, sistematika vegetasi, dan interaksi vegetasi dengan lingkungan. Selain itu dalam ekologi vegetasi juga mengkaji perkembangan, perubahan, stabilitas komunitas, dan geografi tumbuhan. Ekologi vegetasi memiliki kesamaan makna dengan ekologi tumbuhan (Greig-Smith, 1964; Kershaw, 1964) dengan ekologi komunitas (Oosting, 1956) atau dengan sinekologi tumbuhan (Daubenmire, 1968). Dalam ekologi vegetasi, lingkungan memiliki peran yang sangat vital dalam komunitas tumbuhan. Vegetasi memiliki karakter lanskap yang unik. Hal tersebut menjadi pencetus utama mengapa peneliti menaruh perhatian pada vegetasi. Misalnya saja pada vegetasi Mangrove yang tersusun dari berbagai tumbuhan mangrove yang memiliki masing-masing memiliki keunikan. Tumbuhan Api-api (*Avicennia* sp.) memiliki akar napas yang berbentuk seperti paku panjang yang rapat muncul ke permukaan lumpur untuk pertukaran oksigen dan karbondioksida. Selain itu pada lahan miskin unsur hara, tumbuhan Kantong semar memiliki kemampuan untuk mendegradasi serangga untuk memenuhi kebutuhan nitrogen bagi tubuhnya (Gambar 9.1)



Gambar 9. 1. Vegetasi tumbuhan *Nepenthes* sp.

Sumber: Ilma, Rohman, & Ibrohim, 2014

9.2 Kecenderungan dalam Ekologi Vegetasi saat ini

Ekologi vegetasi saat ini dilatar belakangi oleh kondisi geografi, orientasi sistematika-tipologi, lingkungan, eksperimental, dinamika, matematika-statistika, geografi-kawasan dan sejarah, kartografi, orientasi terapan, dan orientasi ekosistem. Kondisi geografi mempengaruhi vegetasi suatu wilayah. Misalnya saja pada komposisi vegetasi Hutan Taman Wisata Alam Sorong yang didominasi oleh tingkat Pohon, hal tersebut tentunya berkaitan dengan kondisi hutan yang menjadi habitat dari berbagai jenis burung (Ponisri et al., 2021). Dalam ekologi tumbuhan orientasi sistematika-tipologi digunakan untuk mengkategorikan kelas-kelas dalam tumbuhan. Orientasi lingkungan digunakan untuk mencirikan komunitas tumbuhan. Misalnya pada komunitas Kantung Semar (*Nepenthes* sp.) lingkungan atau habitatnya adalah tanah yang miskin unsur hara, sehingga *Nepenthes* memiliki keunikan yaitu adanya modifikasi ujung daun untuk memerangkap serangga (Cahyono, Roini, & Tamalene, 2019; Ilma, Rohman, & Ibrohim, 2014). Orientasi eksperimental didasarkan untuk menjelaskan hubungan sebab-akibat dalam komunitas tumbuhan. Misalnya, kompetisi antara tumbuhan yang berperan dalam mengondisikan pola pengelompokkan. Orientasi dinamika didasarkan pada suksesi. Dinamika vegetasi terjadi akibat

perubahan populasi secara temporal. Orientasi matematika-statistika didasarkan pada pengkajian secara kuantitatif komunitas tumbuhan dengan teknik pencuplikan sistematis atau acak. Orientasi geografi-kawasan dan sejarah bermakna suatu vegetasi memiliki hubungan dengan kawasan geografis. Ekologi vegetasi berdasarkan pada orientasi kartografi yaitu membuat pemetaan vegetasi. Pemetaan dan klasifikasi vegetasi ditujukan untuk mengatasi permasalahan ketahanan pangan dan pembangunan pertanian (Todoroff & Kemp, 2017). Orientasi terapan dan ekosistem menjadi bagian penting bagi studi vegetasi.

9.3 Analisis Vegetasi

Vegetasi adalah kumpulan dari berbagai jenis tumbuhan yang hidup dalam lingkungan yang sama dan saling berinteraksi (Nuraida et al., 2022). Vegetasi memiliki peran yang vital bagi kehidupan. Tumbuhan mampu menyerap karbondioksida (CO_2) di udara melalui proses fotosintesis (Oktaviani et al., 2017). Dalam ekologi vegetasi, analisis mengenai tumbuhan dilakukan untuk mempelajari susunan komunitas tumbuhan. Selain itu analisis vegetasi ditujukan untuk mengetahui kondisi lingkungan. Kondisi lingkungan akan dihubungkan secara langsung dengan parameter vegetasi yang diamati dan metode yang digunakan.

Analisis vegetasi dapat dilakukan dengan sampling. Sampling merupakan pengambilan sampel pada petak contoh yang tercuplik. Sample yang tercuplik akan mewakili suatu habitat. Penggunaan petak contoh harus disesuaikan dengan tujuan penelitian. Petak contoh untuk hutan heterogen akan membutuhkan jumlah yang lebih banyak daripada hutan homogen. Oleh karena itu dalam analisis vegetasi diperlukan metode yang relevan.

9.3.1 Destruktif

Metode ini digunakan untuk menganalisis keseluruhan materi organik yang terdapat pada suatu vegetasi. Materi organik yang dimaksud yaitu produktivitas primer dan biomassa. Produktivitas primer dinyatakan dalam satuan volume pada periode tertentu. Produktivitas primer dapat dimaknai dengan akumulasi energi hasil dari fotosintesis (Putrisia, Ain, & Rahman, 2022). Pengukuran produktivitas primer pada vegetasi sederhana dengan menggunakan ukuran pencuplikan 1-5 m². Pengambilan sampel dalam metode destruktif dilakukan dengan mengambil bagian dari tumbuhan tersebut seperti daun. Sampel yang sudah diambil, selanjutnya ditimbang berat basah (kondisi masih segar) dan berat kering (kondisi setelah dikeringkan). Pada studi mengenai lahan pengembalaan metode tersebut akan membantu memberikan gambaran dari kapasitas daya tampung dan kualitas suatu lahan (Ardhana, 2012). Dalam metode destruktif, pendekatan floristika sangat dibutuhkan. Pendekatan floristika yang dimaksud didasarkan pada ilmu klasifikasi tumbuhan.

9.3.2 Nondestruktif

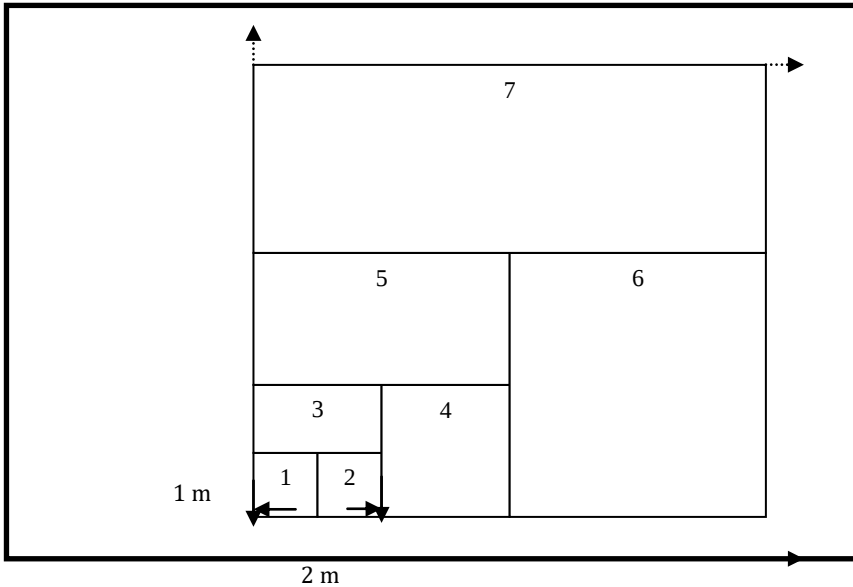
Metode ini dilakukan dengan pengamatan parameter struktur vegetasi. Dalam metode nondestruktif terdapat dua pendekatan yaitu nondestruktif nonfloristika, dan nondestruktif floristika. Nondestruktif nonfloristika didasarkan pada life form suatu vegetasi. Sedangkan nondestruktif floristika didasarkan pada parameter kuantitatif. Selain itu parameter kualitatif yang dapat menggambarkan komposisi dan struktur vegetasi yaitu stratifikasi, periodisitas seperti periode berbunga, gugur daun, dan vitalitas atau daya hidup. Stratifikasi dapat dilakukan dengan penggolongan tinggi dari setiap pohon (Septiawan, Indriyanto, & Durat, 2027).

9.4 Teknik Pencuplikan

Sampling dalam analisis vegetasi dilakukan dengan pencuplikan petak contoh. Pencuplikan ditujukan agar tidak terlalu banyak merusak atau mengganggu vegetasi lain. Dalam analisis vegetasi atau komunitas, terdapat berbagai parameter, yang dapat dipakai sebagai satuan nilai pengukuran secara kualitatif dan kuantitatif. Untuk analisis kuantitatif ada beberapa metode yang digunakan dalam pengambilan sampel sebagai berikut.

9.4.1 Kuadrat atau Petak Contoh

Teknik yang paling sering digunakan dalam pengambilan sampel adalah dengan petak contoh atau kuadrat dari ukuran baku. Metode kuadrat dapat menggunakan petak contoh persegi, persegi panjang, ataupun lingkaran (Pangabea et al., 2022). Metode kuadrat dapat digunakan untuk semua tipe vegetasi utama dan analisis komunitas hewan yang sesil. Selain itu, metode kuadrat sangat sangat cocok digunakan untuk menganalisis vegetasi campuran gulma yang rapat. Dalam menentukan petak contoh hal yang harus diperhatikan yaitu tipe komunitas yang akan dianalisis, penentuan bentuk, ukuran, dan jumlah petak contoh. Ukuran petak contoh yang disarankan untuk tingkat anakan (*seedlings*) 2 m x 2 m; 5 m x 5 m untuk tingkat sapling (*saplings*); 10 m x 10 m untuk tingkat tiang (*poles*); 20 m x 20 m untuk tingkat pohon (*trees*). Bentuk petak contoh berhubungan dengan kemudahan dalam peletakan dan pengambilan data. Misalnya saja untuk pengamatan vegetasi rendah, plot bentuk lingkaran akan lebih representatif. Namun, untuk analisis komposisi tegakan, plot bentuk segiempat akan lebih praktis dan efisien. Penentuan lokasi sampling dapat dipilih secara purposive atau acak. Sampling diharapkan mampu memberikan gambaran data secara merata. Berikut merupakan gambar petak bersarang (Gambar 9.2).

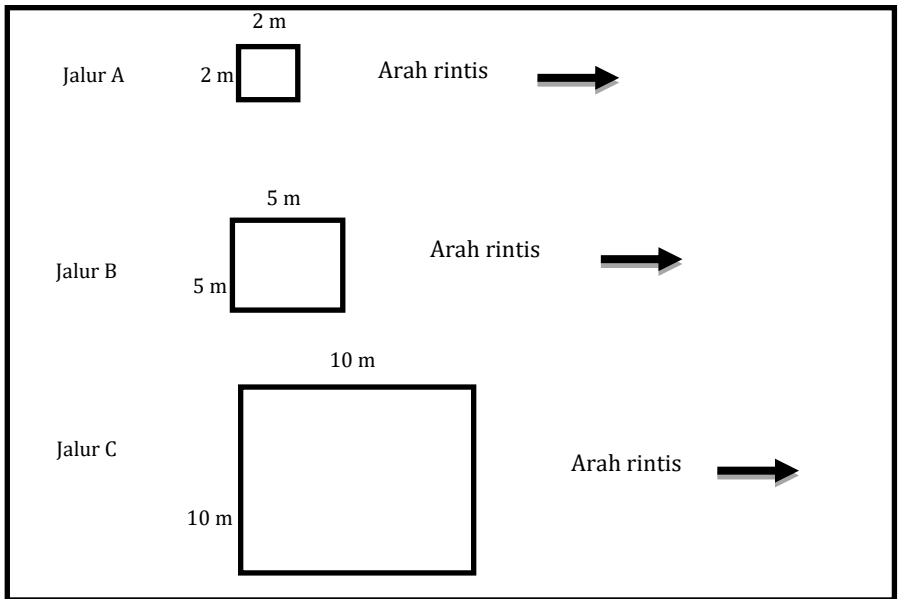


Gambar 9. 2. Bentuk petak-contoh tunggal untuk kurva minimal

9.4.2 Transek/jalur/jelajah

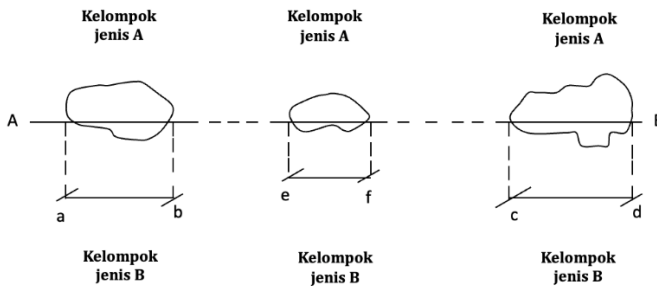
Transek/jalur/jelajah dilakukan dengan menarik garis lurus atau jalan menjelajah lokasi yang akan dianalisis. Metode ini dilakukan untuk mengetahui perubahan vegetasi dalam waktu yang cepat. Selain itu dengan melakukan jelajah peneliti dapat secara bebas memilih arah dengan tujuan tertentu. Metode ini terdiri dari dua jenis yaitu jalur dengan petak contoh dan jalur tanpa petak contoh. **Metode jalur dengan petak contoh** bertujuan untuk memperoleh data mengenai perubahan kondisi tanah, topografi, dan elevasi. Jalur dapat dibuat dengan memotong garis topografi atau dibuat sejajar. Jumlah transek/jalur dapat disesuaikan dengan dengan luasan suatu wilayah. Sampling dilakukan antara 2-10% luas wilayah penelitian (Soerianegara dan Indrawan, 1982). Misalnya menggunakan luas petak contoh jalur A 2 x 2 m untuk pengamatan anakan; jalur B 5 x 5 m untuk pengamatan sapihan; jalur C 10 x 10 m untuk pohon. Bentuk dan ukuran petak-petak

pengamatan serta peletakkannya ada setiap garis rintis dapat dilihat pada Gambar 9.3.



Gambar 9. 3. Metode jalur dengan petak contoh

Metode jalur atau garis tanpa petak contoh adalah metode garis atau membuat rintisan memanjang dalam sebuah komunitas vegetasi. Metode jalur ditujukan untuk mengidentifikasi spesies yang terdapat dalam suatu vegetasi dengan waktu yang cepat. Dalam metode pengambilan sampel ini alat yang digunakan yaitu tali rafia dengan ukuran 10-50 m (sebagai garis rintisan). Tumbuhan yang diinventarisir adalah tumbuhan yang dilewati atau yang terletak pada arah rintisan (Gambar 9.4).

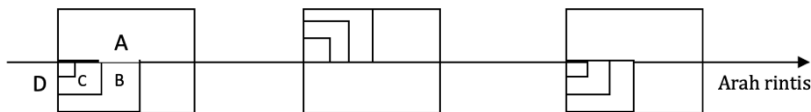


Gambar 9. 4. Metode Garis tanpa Petak Contoh

Dalam metode jalur tanpa petak contoh parameter yang dapat diukur adalah kerapatan, frekuensi, dan dominansi tumbuhan.

8.4.3 Metode Garis Berpetak

Metode ini dilakukan dengan membuat petak dalam jalur. Petak contoh dibuat dalam setiap jalur dengan ukuran dan jarak tertentu. Ketentuan mengenai ukuran dan jarak setiap petak disesuaikan dengan kebutuhan penelitian. Misalnya saja untuk petak ukuran 2 x 2 m untuk pengamatan seedling dan tumbuhan bawah (Gambar 9.5)



Gambar 9. 5. Metode Garis Berpetak

Keterangan:

- Petak A : petak 20 x 20 m pengamatan pohon
- Petak B : petak 10 x 10 m pengamatan poles
- Petak C : petak 5 x 5 m pengamatan sapling
- Petak D : petak 2 x 2 m pengamatan seedling dan tumbuhan bawah

9.4.4 Metode kombinasi

Metode ini mengkombinasikan antara metode jalur dan petak. Dalam metode kombinasi jalur dibuat dengan lebar 10 atau 20 m untuk pengamatan pohon. Sedangkan untuk pengamatan tumbuhan bawah dapat menggunakan metode garis berpetak. Metode kombinasi dapat dilakukan secara sistematis, semisistematis, atau acak.

9.4.5 Metode Kuadran

Metode ini ditujukan untuk pengamatan pada vegetasi tumbuhan yang didominasi oleh pohon. Metode ini lebih cepat dan efisien untuk pengamatan komposisi jenis, indeks dominansi, dan taksiran volume pohon. Dalam pelaksanaan metode ini distribusi pohon harus secara acak.

9.5 Parameter dalam Analisis Vegetasi

Deskripsi suatu komunitas dapat digambarkan melalui parameter kualitatif dan kuantitatif. Parameter kualitatif dalam ekologi vegetasi adalah fisiognomi, fenologi, periodisitas, stratifikasi, kelimpahan, penyebaran, daya hidup atau vitalitas, dan bentuk pertumbuhan. Sedangkan parameter kuantitatif dalam analisis vegetasi adalah kerapatan, frekuensi, penutup, indeks nilai penting (INP), indeks keragaman, dan indeks pemerataan.

9.5.1 Kerapatan (*Density*)

Kerapatan (*density*) merupakan banyak individu atau jenis tumbuhan yang dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$K = \frac{\text{Jumlah individu}}{\text{Luas petak contoh}}$$

Kerapatan setiap spesies dapat dihitung sebagai K_i dan kerapatan relatif KR_i dengan rumus sebagai berikut.

$$K_i = \frac{\text{Jumlah individu untuk spesies ke } - i}{\text{Luas seluruh petak contoh}}$$

$$KR_i = \frac{\text{Kerapatan spesies ke } - i}{\text{Kerapatan seluruh spesies}} \times 100\%$$

8.5.2 Frekuensi

Distribusi jenis tumbuhan di lingkungan dapat digambarkan melalui frekuensi. Selain itu frekuensi juga dapat menunjukkan pola distribusi vegetasi. Frekuensi dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$F = \frac{\text{Jumlah petak contoh ditemukannya suatu spesies}}{\text{Jumlah seluruh petak contoh}}$$

$$F_i = \frac{\text{Jumlah petak contoh ditemukannya suatu spesies ke } - i}{\text{Jumlah seluruh petak contoh}}$$

$$FR_i = \frac{\text{Frekuensi suatu spesies ke } - i}{\text{Frekuensi seluruh spesies}} \times 100\%$$

9.5.3 Penutup (Cover)

Gambaran mengenai luasan permukaan tanah yang dihuni oleh organ tumbuhan seperti daun, dapat dihitung melalui luas penutupan tajuk dibagi luas seluruh petak contoh. Nilai penutup dapat digunakan untuk mengetahui dominansi suatu jenis tumbuhan. Nilai penutup dapat dihitung sebagai berikut.

$$C = \frac{\text{Luas penutupan tajuk}}{\text{Luas seluruh petak contoh}}$$

$$C_i = \frac{\text{Total luas penutupan tajuk spesies ke } - i}{\text{Luas seluruh petak contoh}}$$

$$CR - i = \frac{\text{Penutupan spesies ke } i}{\text{Penutupan seluruh spesies}} \times 100\%$$

9.5.4 Indeks Nilai Penting (INP)

Tingkat dominansi suatu vegetasi dapat diukur melalui INP. INP dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$INP = KR + FR + CR$$

Keterangan:

KR = Kerapatan relatif

FR = Frekuensi relatif

CR = Penutupan relative

9.5.5 Indeks Keragaman (*Index of Diversity*)

Indeks keragaman menggambarkan bahwa dalam suatu lingkungan terdapat keragaman spesies yang tinggi, sedang, ataupun rendah. Selain itu, indeks keragaman mampu memberikan perbandingan dari komunitas tumbuhan. Untuk mengetahui indeks keanekaragaman digunakan rumus sebagai berikut.

a) Indeks Shannon-Wiener (H')

$$H' = -\sum_{i=1}^n \frac{n}{N} \ln \frac{n}{N}$$

Keterangan:

H' = indeks Shannon = indeks keanekaragaman Shannon - Wiener

ln = logaritma natural

n = jumlah individu tiap jenis

N = jumlah total individu seluruh jenis

b) Indeks Margalef (d)

$$d = \frac{(s-i)}{\log N}$$

Keterangan:

- D = indeks Margalef = indeks keanekaragaman Margalef
S-i = jumlah spesies ke-i
N = jumlah individu

c) Indeks Simpson atau *Simpson of Diversity* (D)

$$D = 1 / \sum_{i=1}^S (P - i)^2$$

Keterangan:

- D = indeks Simpson = indeks keanekaragaman Simpson
P-i = proporsi spesies ke-i dalam komunitas
S = jumlah spesies

Untuk menentukan indeks keanekaragaman jenis di suatu areal ter-gantung dari tipe ekosistem areal cuplikan. Pada umumnya hutan dataran rendah memiliki komposisi jenis lebih sedikit dibandingkan dengan hutan tropika basah. Kriteria indeks keanekaragaman Shannon-Wiener menurut Odum (1971) sebagai berikut.

- $H' > 3$: Keanekaragaman tinggi, penyebaran jumlah individu tiap spesies tinggi dan kestabilan komunitas tinggi
 $1 < H' < 3$: Keanekaragaman sedang, penyebaran jumlah individu tiap spesies sedang dan kestabilan komunitas sedang
 $H' < 1$: Keanekaragaman rendah, penyebaran jumlah individu tiap spesies rendah dan kestabilan komunitas rendah

9.5.6 Indeks Kemerataan Jenis (E)

Indeks kemerataan digunakan untuk mengetahui penyebaran individu tiap jenis yang mendominasi populasi. Nilai kemerataan jenis dihitung menggunakan indeks Eveness (Ludwig dan Reynolds, 1988). Rumus indeks Eveness adalah sebagai berikut.

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Keterangan:

- E = indeks kemerataan jenis
H' = indeks keanekaragaman jenis
S = jumlah jenis

Kriteria nilai Indeks Kemerataan (Ludwig & Reynolds, 1988):

$0 < E < 0.5$: komunitas dalam keadaan tertekan

$0.5 < E < 0.75$: komunitas dalam keadaan agak seimbang

$0.75 < E < 1$: komunitas dalam keadaan seimbang

9.6 Aplikasi Analisis Vegetasi dalam Kehidupan

Ekologi vegetasi sangat berperan bagi kelangsungan hidup makhluk di bumi. Vegetasi menyediakan asupan O_2 bagi makhluk hidup. Dalam ekologi vegetasi ada yang disebut dengan valuasi ekologi tumbuhan. Valuasi ekologi digunakan untuk mengapresiasi tumbuhan berdasarkan *goods and service* (produk & layanan). Hal tersebut dilakukan untuk mengidentifikasi produk dari tumbuhan seperti buah, kayu, dan lain sebagainya. Sedangkan layanan dianalisis berdasarkan seberapa besar penyerapan CO_2 dan pelepasan O_2 oleh vegetasi tumbuhan. Valuasi ekologi dapat dilakukan dengan menggunakan metode kombinasi plot dan transek. Dalam penelitian valuasi ekologi pengukuran dbh (*diameter at breast height*), tinggi batang, tinggi pohon, panjang kanopi, lebar kanopi, dan persentase penutupan kanopi pohon dilakukan untuk menganalisis nilai struktur-ekologis suatu vegetasi. Penelitian di Taman Nasional Meru Betiri (TNMB) mengungkapkan bahwa estimasi nilai ekologis pada vegetasi pohon sebesar 146. 519. 744 dalam 1,20 hektare atau Rp122. 099. 787 /hektare (Mulyadi, 2019). Selain itu Fatimah et al, (2013) melaporkan mengenai manfaat valuasi ekologi di Ruang Terbuka Hijau (RTH) kota Bogor yaitu potensi reduksi limpasan permukaan, penyerapan polutan, potensi penyimpana dan daya rosot karbon.

Analisis vegetasi dapat memberikan informasi mengenai dominansi tumbuhan disuatu ekosistem dan pengaruhnya terhadap lingkungan. Analisis struktur vegetasi di kecamatan Ampel Kabupaten Boyolali (Maridi, Saputra, & Agustina, 2015) menunjukkan bahwa INP tertinggi pada tumbuhan Cabe Rawit (*Capsicum frutescens*), hal tersebut memberikan informasi penting khususnya bagi petani untuk menanam Cabe Rawit didaerah tersebut karena didukung oleh faktor lingkungan. Analisis vegetasi tumbuhan herba di Kawasan Hutan Krawak (Nuraida et al., 2022) melaporkan bahwa indeks keragaman di Hutan tersebut masuk pada kategori sedang. Hal tersebut memberikan informasi bahwa komposisi vegetasi yang beragam mampu memenuhi kebutuhan masyarakat sekitar dalam hal penyimpanan air. Analisis vegetasi di Hutan Seulawah kabupaten Aceh Besar menunjukkan bahwa semua jenis tumbuhan di kawasan tersebut menjadi sumber kehidupan masyarakat sekitar (Hidayat, et al., 2017).

Pemanfaatan jenis gulma juga merupakan bagian ekologi vegetasi. Yuliana dan Ami (2020) melaporkan bahwa ada 13 jenis gulma yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan pangan, pakan ternak, dan obat tradisional. Gulma juga dapat dimanfaatkan sebagai pengedali hama alami (refugia). Beberapa jenis tanaman refugia yaitu Kenikir (*Cosmos caudatus*), bunga Morning Glory (*Ipomoea balsamina*), bunga Pacar Air (*Impatiens balsamina*), dan bunga Kertas (*Zinnia peruviana*). Tanaman refugia yang dimanfaatkan di Soporaru Tapanuli Utara mampu membantu petani meningkatkan hasil panen (Lesnida, Bakti, & Siregar, 2021). Tumbuhan yang berperan sebagai refugia biasanya adalah tumbuhan berbunga. Warna mencolok dari bunga sangat menarik bagi serangga. Pemanfaatan refugia bagi pertanian akan membantu untuk menekan tingkat populasi hama (Sakir, & Desinta, 2018).

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyono, D., B., Roini, C., & Tamalene, M.N. (2019). Karakteristik Habitat Tumbuhan Kantong Semar (*Nepenthes* sp.) di Pulau Halmahera. *Techo*, 8(1), 233-241.
- Daubenmire, R. F. (1968). *Plant Communities: A textbook of plant synecology*. Harper & Row. New York: 300 hlm.
- Fatimah, I., S., Sinukaban, N., Munandar, A., & Kholil. (2013). Valuasi Manfaat Ekologis Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Kota Bogor dengan Aplikasi Citygreen 5.4. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 3(1), 31-38.
- Greig-Smith, P. (1964). *Quantitative plant ecology*. Edisi 2. Butterworths, London. 256 hlm.
- Hidayat, M., Laiyanah, Silvia, N., Putri, Y., A., & Marhamah, N. (2017). Analisis Vegetasi Tumbuhan Menggunakan Metode Transek Garis di Hutan Seulawah Agam Desa Pulo Kemukiman Lamteuba Kabupaten Aceh Besar. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*. ISBN: 978-602-60401-3-8.
<https://doi.org/10.33387/tk.v8i1.1089>
- Ilma, S., Rohman, F., & Ibrohim. (2014). Analisis Vegetasi *Nepenthes* spp. Di Hutan Penelitian Universitas Borneo Tarakan. *Proceeding Biology Education Conference*, 11(1), 284-289.
- Kershaw, K.A. (1964). *Quantitative and dynamic ecology*. Edward Arnold Publishing Co. Ltd. London: 183 hlm.
- Lesnida, S., Bakti, D., & Siregar, A., Z. (2021). Pemanfaatan Tanaman Refugia Mengendalikan Hama Padi (*Oryza nivara* L) di Soporaru Tapanuli Utara. *Jurnal Agrifor*, 20(2), 299-310.

- Maridi, Saputra, A., & Agustina, P. (2015). Analisis Struktur Vegetasi di Kecamatan Ampel Kabupaten Boyolali. *Bioedukasi*, 8(1), 28-42.
- Mulyadi, B., P. (2019). *Nilai Ekologi Vegetasi Pohon di Blok Pletes Resort Wonoasri Taman Nasional Meru Betiri dengan Pendekatan Valuasi Ekologi*. Skripsi: Dipublikasikan. Universitas Jember.
- Nuraida, D., Rosyida, S., Z., A., Widyawati, N., A., Sari, K., W., & Fanani, M., R., I. (2022). Analisis Vegetasi Tumbuhan Herba di Kawasan Hutan Krawak. *Jurnal Biologi dan Pembelajarannya*, 9(2), 96-104.
- Oosting, H.J. 1956. *The study of plant communities: An introduction to plant ecology*. Edisi 2. W. H. Freeman and Co. San Francisco dan London. 440 hlm.
- Pangabeian, N.H., Khairani, M., Sitepu, D.R., Nuzalifa, Y.U. (2022). *Jurnal Serunai Ilmu Pendidikan*, 8(2), 171-179.
- Ponisri, Saeni, F., & Nanlohy, L.H. (2021). Komposisi dan Pola Penyebaran Vegetasi pada Tingkat Pohon di Areal Hutan Taman Wisata Alam Sorong. *Agrologia*, 10(2), 54-62.
- Putrisia, A.V., Ain, C., & Rahman, A. (2022). Analisa Produktivitas Primer sebagai Upaya Pengelolaan Kualitas Air di Waduk Jatibarang, Semarang. *Jurnal Triton*, 18(1), 1-9. <https://doi.org/10.30598/TRITONvol18issue1page1-9>
- Sakir, I., C., & Desinta. (2018). Pemanfaatan Refugia dalam Meningkatkan Produksi Tanaman Padi berbasis Kearifan Lokal. *Jurnal Lahan Suboptimal*, 7(1), 97-105.
- Septiawan, W., Indriyanto, & Duryat. (2017). Jenis Tanaman, Kerapatan, dan Stratifikasi Tajuk pada Hutan Kemasyarakatan Kelompok Tani Rukun Makmur 1 di Register 30 Gunung Tanggamus, Lampung. *Jurnal Sylva Lestari*, 5(2), 88-101.

- Todoroff, P., & Kemp, J. (2016). Kontribusi Penginderaan Jauh terhadap Pemantauan Tanaman di Zona Tropis. Halaman 179-220.
- Yuliana, A., I., & Ami, M., S. (2020). Analisis Vegetasi dan Potensi Pemanfaatan Jenis Gulma Pasca Pertanaman Jagung. *Jurnal Agroteknologi Merdeka Pasuruan*, 4(2), 20-28.

BAB 10

EKOLOGI RESTORASI

Oleh Wayan Budiarsa Suyasa

10.1 Definisi dan Konsep Dasar Ekologi Restorasi

Ekologi restorasi adalah cabang ilmu ekologi yang berfokus pada pemulihan ekosistem yang telah rusak atau terganggu akibat aktivitas manusia maupun bencana alam. Restorasi ekologi bertujuan untuk mengembalikan fungsi ekosistem, keanekaragaman hayati, dan jasa ekosistem yang penting bagi kesejahteraan manusia dan lingkungan. Proses ini melibatkan berbagai pendekatan ilmiah, teknik, dan partisipasi masyarakat untuk mencapai tujuan pemulihan yang berkelanjutan. Ekologi restorasi merupakan disiplin ilmu yang berkembang untuk menangani degradasi lingkungan yang meluas. Menurut Society for Ecological Restoration (SER), restorasi ekologi adalah proses membantu pemulihan ekosistem yang telah mengalami kerusakan, degradasi, atau gangguan. Tujuan utama dari ekologi restorasi adalah mengembalikan keanekaragaman hayati, produktivitas, dan fungsi ekosistem yang telah hilang atau terganggu. Konsep dasar dalam ekologi restorasi meliputi:

- **Referensi Ekosistem** : Ekosistem referensi adalah kondisi ekosistem alami yang digunakan sebagai acuan untuk restorasi. Ini mencakup komposisi spesies, struktur, fungsi ekosistem, dan dinamika alamnya.
- **Pemulihan Fungsi Ekosistem** : Fokus utama dari restorasi adalah memulihkan fungsi ekosistem seperti siklus hara, pola hidrologi, dan interaksi antara spesies.

- Keberlanjutan : Restorasi harus mempertimbangkan keberlanjutan jangka panjang, memastikan bahwa ekosistem yang dipulihkan dapat bertahan dan berfungsi tanpa intervensi manusia yang terus-menerus.
- Partisipasi Masyarakat : Keterlibatan masyarakat lokal dalam proses restorasi sangat penting untuk keberhasilan jangka panjang, karena mereka memiliki pengetahuan lokal dan kepentingan langsung terhadap keberlanjutan ekosistem.

Ekologi restorasi mulai berkembang sebagai disiplin ilmu pada paruh kedua abad ke-20. Pada awalnya, fokus utama adalah pemulihan lahan yang terdegradasi akibat pertanian intensif, penambangan, dan urbanisasi. Pada dekade 1980-an dan 1990-an, ekologi restorasi mulai diakui sebagai disiplin ilmu yang penting, dengan pembentukan organisasi seperti Society for Ecological Restoration (SER) pada tahun 1987.

Perkembangan signifikan dalam ekologi restorasi termasuk penerapan metode ilmiah untuk mengukur keberhasilan restorasi, pengembangan teknik restorasi baru, dan peningkatan pemahaman tentang pentingnya keanekaragaman hayati dan jasa ekosistem. Selain itu, kebijakan lingkungan dan undang-undang yang mendukung konservasi dan restorasi ekosistem juga turut berperan dalam mendorong perkembangan disiplin ini.

10.2 Pendekatan dan Restorasi Ekosistem di Indonesia

Terdapat berbagai pendekatan dan teknik yang digunakan dalam ekologi restorasi, tergantung pada jenis ekosistem yang dipulihkan dan tingkat kerusakan yang terjadi. Beberapa pendekatan utama dalam restorasi ekosistem antara lain:

- **Rehabilitasi** : Bertujuan untuk memperbaiki fungsi ekosistem tertentu yang hilang atau terganggu tanpa mengembalikan ekosistem ke kondisi aslinya. Rehabilitasi sering dilakukan pada lahan tambang atau lahan pertanian yang terdegradasi.
- **Rekonstruksi** : Melibatkan pembangunan kembali ekosistem dari awal, sering kali di lahan yang sangat terdegradasi atau diubah secara drastis oleh aktivitas manusia. Rekonstruksi membutuhkan penanaman kembali spesies asli dan rekayasa habitat.
- **Remediasi** : Fokus pada penghilangan atau netralisasi kontaminan dari tanah, air, dan udara untuk memulihkan kondisi lingkungan yang sehat. Teknik ini sering digunakan pada lahan yang terkontaminasi oleh bahan kimia berbahaya.
- **Revegetasi** : Melibatkan penanaman kembali tumbuhan asli untuk memulihkan penutup vegetasi yang hilang. Revegetasi sering digunakan pada lahan yang mengalami erosi atau kebakaran hutan.
- **Pengelolaan Habitat** : Melibatkan pengelolaan habitat untuk mempertahankan atau meningkatkan kondisi lingkungan bagi spesies tertentu, seperti pemeliharaan lahan basah untuk burung migran atau pengelolaan hutan untuk spesies terancam.

Indonesia memiliki berbagai proyek restorasi ekosistem yang bertujuan untuk memulihkan keanekaragaman hayati dan fungsi ekosistem yang terdegradasi. Beberapa studi kasus yang menonjol antara lain:

Restorasi Hutan Gambut di Kalimantan : Hutan gambut di Kalimantan telah mengalami kerusakan parah akibat kebakaran hutan dan konversi lahan untuk perkebunan kelapa sawit. Proyek restorasi di daerah ini melibatkan rehidrasi lahan gambut, penanaman kembali spesies pohon asli, dan partisipasi masyarakat lokal dalam pengelolaan lahan gambut.

Restorasi Terumbu Karang di Bali : Terumbu karang di Bali mengalami degradasi akibat penangkapan ikan yang merusak, perubahan iklim, dan polusi. Program restorasi terumbu karang di Bali melibatkan transplantasi karang, pengelolaan kawasan laut yang dilindungi, dan pendidikan masyarakat tentang pentingnya konservasi terumbu karang.

Restorasi Lahan Basah di Sumatra : Lahan basah di Sumatra terdegradasi akibat drainase untuk pertanian dan perkebunan. Proyek restorasi melibatkan rehidrasi lahan basah, penanaman kembali vegetasi asli, dan pemantauan keanekaragaman hayati untuk memastikan keberhasilan restorasi.

Ekologi restorasi menghadapi berbagai tantangan yang harus diatasi untuk mencapai keberhasilan jangka panjang. Pendanaan menjadi tantangan utama, restorasi ekosistem memerlukan investasi yang signifikan, dan pendanaan sering kali menjadi kendala utama. Pemerintah, organisasi non-pemerintah, dan sektor swasta perlu bekerja sama untuk menyediakan sumber daya yang diperlukan. Pengetahuan dan Teknologi menjadi tantangan berikutnya yaitu kurangnya pengetahuan tentang dinamika ekosistem dan teknik restorasi yang efektif dapat menghambat proses restorasi. Penelitian dan pengembangan teknologi baru sangat penting untuk meningkatkan keberhasilan restorasi. Penguatan partisipasi Masyarakat yang mana restorasi yang berhasil memerlukan partisipasi aktif dari masyarakat lokal. Pendekatan partisipatif dan pemberdayaan komunitas sangat penting untuk memastikan keberlanjutan proyek restorasi. Tantangan berikutnya adalah Perubahan iklim yang mempengaruhi keberhasilan restorasi ekosistem dengan mengubah kondisi lingkungan dan mempengaruhi spesies yang ada. Strategi adaptasi perlu diterapkan untuk mengatasi dampak perubahan iklim.

10.3 Konservasi keanekaragaman hayati

1. Peluang konservasi keanekaragaman hayati

Keanekaragaman hayati atau biodiversitas mengacu pada variasi kehidupan di bumi dalam segala bentuknya, termasuk ekosistem darat dan laut, spesies, dan gen yang dimiliki oleh organisme tersebut. Keanekaragaman hayati merupakan komponen fundamental dalam ekosistem yang mendukung kehidupan di planet ini. Konservasi keanekaragaman hayati memiliki peranan penting berikut:

- **Ekosistem yang Sehat** : Keanekaragaman hayati memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Setiap spesies dalam suatu ekosistem memiliki peran tertentu, baik sebagai pemangsa, mangsa, pengurai, atau penyerbuk. Fungsi-fungsi ini saling berkaitan dan mendukung kelangsungan hidup satu sama lain. Misalnya, penyerbuk seperti lebah sangat penting bagi reproduksi tanaman berbunga, yang pada gilirannya menyediakan makanan bagi banyak spesies lain.
- **Sumber Daya Alam** : Keanekaragaman hayati menyediakan sumber daya alam yang tak ternilai harganya bagi manusia. Tanaman dan hewan adalah sumber pangan, obat-obatan, bahan bangunan, dan pakaian. Banyak obat modern yang berasal dari ekstraksi bahan alami, seperti kina dari kulit pohon kina untuk mengobati malaria, atau aspirin yang awalnya diekstraksi dari kulit pohon willow.
- **Stabilitas Iklim** : Hutan, lahan basah, dan ekosistem lainnya menyerap dan menyimpan karbon dioksida, membantu mengurangi dampak perubahan iklim. Hutan hujan tropis, seperti yang ada di Indonesia, berfungsi sebagai "paru-paru dunia" dengan menyerap karbon dioksida dan menghasilkan oksigen. Dengan

hilangnya keanekaragaman hayati, kapasitas ekosistem untuk menyerap karbon dioksida berkurang, yang dapat mempercepat perubahan iklim.

- Kesejahteraan Manusia : Keanekaragaman hayati juga memiliki dampak langsung pada kesejahteraan manusia. Ekosistem yang sehat menyediakan air bersih, mengatur siklus nutrisi, dan membantu mencegah bencana alam seperti banjir dan tanah longsor. Selain itu, keanekaragaman hayati juga berkontribusi pada kebudayaan manusia, memberikan inspirasi seni, dan mendukung pariwisata alam yang dapat meningkatkan perekonomian lokal.

2. Tantangan dalam Pelestarian Keanekaragaman Hayati

Konservasi keanekaragaman hayati memiliki tantangan penting yaitu

- Perubahan Iklim : Perubahan iklim adalah salah satu ancaman terbesar bagi keanekaragaman hayati. Peningkatan suhu global, perubahan pola curah hujan, dan pergeseran musim mengancam habitat alami banyak spesies. Sebagai contoh, terumbu karang di seluruh dunia mengalami pemutihan akibat suhu air yang meningkat, yang mengancam kelangsungan hidup banyak spesies laut yang bergantung pada terumbu karang sebagai habitat.
- Deforestasi dan Degradasi Habitat : Deforestasi dan degradasi habitat akibat aktivitas manusia seperti pertanian, penebangan, dan urbanisasi menyebabkan hilangnya habitat alami bagi banyak spesies. Di Indonesia, deforestasi untuk perkebunan kelapa sawit telah mengakibatkan hilangnya hutan hujan tropis yang kaya akan keanekaragaman hayati. Hilangnya habitat ini tidak hanya mengancam spesies yang ada di

dalamnya, tetapi juga mempengaruhi fungsi ekosistem secara keseluruhan.

- Perburuan dan Perdagangan Satwa Liar : Perburuan dan perdagangan satwa liar yang tidak berkelanjutan mengancam keberadaan banyak spesies. Permintaan pasar gelap untuk produk satwa liar, seperti gading gajah, cula badak, dan kulit harimau, telah mendorong perburuan ilegal dan perdagangan internasional yang mengancam spesies-spesies ini hingga ke ambang kepunahan.

Pencemaran lingkungan akibat aktivitas manusia seperti limbah industri, pertanian, dan rumah tangga memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap keanekaragaman hayati. Pencemaran air oleh limbah kimia, misalnya, dapat menyebabkan eutrofikasi yang mengurangi kadar oksigen di dalam air, membunuh ikan dan organisme air lainnya. Pencemaran udara oleh polutan industri dan kendaraan bermotor juga mengancam kesehatan flora dan fauna.

3. Upaya Pelestarian Keanekaragaman Hayati

Perlindungan Habitat : perlindungan habitat merupakan salah satu langkah paling efektif dalam pelestarian keanekaragaman hayati adalah dengan melindungi habitat alami. Pembentukan taman nasional, suaka margasatwa, dan kawasan konservasi lainnya merupakan upaya penting untuk menjaga habitat yang masih utuh dan melindungi spesies dari ancaman manusia. Di Indonesia, Taman Nasional Gunung Leuser dan Taman Nasional Ujung Kulon adalah contoh kawasan konservasi yang bertujuan melindungi keanekaragaman hayati. Upaya restorasi Ekosistem yang telah rusak juga merupakan langkah penting dalam pelestarian keanekaragaman hayati.

Program reboisasi dan rehabilitasi lahan kritis bertujuan mengembalikan fungsi ekosistem dan menyediakan habitat bagi spesies yang terancam. Proyek restorasi mangrove di pesisir Indonesia, misalnya, membantu mengembalikan habitat bagi banyak spesies ikan dan burung, serta melindungi garis pantai dari erosi. Pengelolaan Berkelanjutan merupakan penerapan praktik pengelolaan berkelanjutan dalam pertanian, kehutanan, dan perikanan dapat membantu mengurangi tekanan terhadap keanekaragaman hayati. Sertifikasi keberlanjutan seperti RSPO (Roundtable on Sustainable Palm Oil) untuk kelapa sawit dan MSC (Marine Stewardship Council) untuk perikanan memberikan insentif bagi produsen untuk mengadopsi praktik yang ramah lingkungan dan menjaga keseimbangan ekosistem. Penegakan Hukum yang ketat terhadap perburuan ilegal dan perdagangan satwa liar sangat penting untuk melindungi spesies yang terancam. Pemerintah harus bekerja sama dengan organisasi internasional dan lembaga penegak hukum untuk menghentikan perburuan dan perdagangan ilegal. Di Indonesia, upaya penegakan hukum terhadap perburuan orangutan dan harimau Sumatra merupakan contoh penting dalam melindungi spesies yang terancam punah (Setyawati, T. R., & Wibowo, 2018). Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya keanekaragaman hayati dan bagaimana mereka dapat berperan dalam pelestariannya adalah langkah kunci dalam upaya pelestarian. Program pendidikan lingkungan, kampanye kesadaran, dan pelibatan masyarakat dalam kegiatan konservasi dapat membantu mengubah perilaku dan mendukung upaya pelestarian. Di Indonesia, berbagai LSM seperti WWF Indonesia dan Kehati Foundation aktif dalam mengedukasi masyarakat dan mendorong partisipasi mereka dalam konservasi.

10.4 Jasa Ekosistem: Pentingnya dan Peranannya dalam Kelestarian Lingkungan

Jasa ekosistem adalah manfaat yang diberikan oleh ekosistem alam kepada manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung. Jasa ini mencakup berbagai aspek kehidupan, mulai dari penyediaan sumber daya alam hingga regulasi lingkungan dan dukungan budaya. Dalam konteks lingkungan dan kelestarian, pemahaman tentang jasa ekosistem menjadi sangat penting untuk memastikan keberlanjutan dan kesejahteraan manusia. Tulisan ini akan mengulas secara mendalam mengenai berbagai jenis jasa ekosistem, pentingnya jasa ekosistem bagi kehidupan manusia, serta tantangan dan upaya pelestarian yang diperlukan.

1. Jenis dan peranan jasa ekosistem

Jasa ekosistem dapat diklasifikasikan menjadi empat kategori utama, yaitu jasa penyediaan, jasa regulasi, jasa budaya, dan jasa pendukung (Assessment, 2005).

- **Jasa Penyediaan** : meliputi sumber daya alam yang merupakan hasil-hasil alam seperti pangan (buah, sayuran, ikan), air bersih, kayu, serat, dan bahan bakar. Penyedia kekayaan genetika yaitu sumber daya genetik dari flora dan fauna yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan bioteknologi, obat-obatan, dan pertanian dan jasa regulasi berupa pengaturan iklim. Ekosistem seperti hutan dan lahan basah berperan dalam menyerap karbon dioksida, membantu mengatur iklim global.
- **Pengendalian Banjir** : jasa pengendali banjir utamanya lahan basah dan hutan mangrove berfungsi sebagai penahan air, mengurangi risiko banjir dan kerusakan akibat badai.

- **Penjernihan Air** : ekosistem alami seperti lahan basah dapat menyaring polutan dari air, meningkatkan kualitas air yang masuk ke dalam sistem air tawar.
- **Jasa Budaya** : meliputi jasa rekreasi dan pariwisata dengan keindahan alam dan keragaman hayati menarik wisatawan dan memberikan peluang rekreasi bagi Masyarakat serta nilai spiritual dan religi dimana banyak masyarakat yang memiliki hubungan spiritual dengan lingkungan alam, dan ekosistem tertentu dianggap sakral.
- **Jasa Pendukung** berupa siklus nutrisi Dimana proses alami seperti dekomposisi dan siklus nitrogen membantu menjaga kesuburan tanah. Pembentukan tanah berupa Proses-proses biotik dan abiotik yang mendukung pembentukan dan pemeliharaan struktur tanah.

Jasa ekosistem memainkan peran vital dalam mendukung kehidupan manusia dan kesejahteraan. Berikut adalah beberapa alasan mengapa jasa ekosistem sangat penting karena memiliki peran berikut :

- **Ketahanan Pangan dan Air**: Ekosistem alami menyediakan sumber pangan dan air yang esensial bagi kehidupan manusia. Tanpa ekosistem yang sehat, ketahanan pangan dan akses terhadap air bersih akan terancam.
- **Perlindungan Terhadap Bencana Alam** : Ekosistem seperti hutan dan lahan basah memberikan perlindungan alami terhadap bencana seperti banjir, tanah longsor, dan badai.
- **Regulasi Iklim dan Udara** : Vegetasi hijau berperan penting dalam menyerap karbon dioksida dan menghasilkan oksigen, membantu mengatur iklim dan kualitas udara.

- Kesehatan dan Kesejahteraan : Lingkungan yang sehat dan alami berkontribusi terhadap kesehatan fisik dan mental manusia, menyediakan ruang untuk rekreasi dan relaksasi.
- Ekonomi dan Mata Pencarian : Banyak komunitas yang bergantung pada sumber daya alam untuk mata pencarian mereka, seperti pertanian, perikanan, dan pariwisata.

2. Tantangan dan Upaya Pelestarian Jasa Ekosistem

Tantangan dalam upaya pelestarian ekosistem meliputi beberapa faktor berikut:

- Degradasi Lingkungan : Aktivitas manusia seperti deforestasi, urbanisasi, dan polusi menyebabkan kerusakan ekosistem yang parah, mengancam kemampuan ekosistem untuk menyediakan jasa.
- Perubahan Iklim : Perubahan iklim global berdampak negatif pada banyak ekosistem, mengganggu fungsi alami dan mengurangi kapasitas mereka untuk menyediakan jasa.
- Eksploitasi Berlebihan : Penggunaan sumber daya alam yang berlebihan tanpa memperhatikan keberlanjutannya dapat menyebabkan penurunan jasa ekosistem secara signifikan.
- Kurangnya Kesadaran dan Pendidikan : Banyak orang belum menyadari pentingnya jasa ekosistem dan bagaimana aktivitas mereka mempengaruhi lingkungan.

Upaya Pelestarian Jasa Ekosistem meliputi aspek berikut:

- Pengelolaan Sumber Daya Berkelanjutan : Mengadopsi praktik pengelolaan yang berkelanjutan untuk

pertanian, perikanan, dan kehutanan guna memastikan bahwa ekosistem dapat terus menyediakan jasa mereka.

- **Konservasi dan Restorasi** : Melakukan upaya konservasi untuk melindungi ekosistem yang ada dan restorasi untuk memulihkan ekosistem yang telah rusak.
- **Kebijakan dan Regulasi** : Pemerintah perlu mengimplementasikan kebijakan dan regulasi yang mendukung pelestarian ekosistem, seperti pengaturan penggunaan lahan dan perlindungan kawasan konservasi.
- **Pendidikan dan Kesadaran Publik** : Meningkatkan kesadaran dan pendidikan masyarakat tentang pentingnya jasa ekosistem dan bagaimana mereka dapat berkontribusi dalam pelestariannya.

3. Studi Kasus: Peran Hutan Mangrove dalam Jasa Ekosistem

Hutan mangrove adalah salah satu contoh ekosistem yang menyediakan berbagai jasa penting. Mangrove berfungsi sebagai penahan abrasi pantai, penyaring polutan, dan tempat pemijahan bagi banyak spesies ikan. Selain itu, mangrove juga menyerap karbon dalam jumlah besar, berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim. Upaya pelestarian hutan mangrove melibatkan berbagai pihak, termasuk pemerintah, organisasi non-pemerintah, dan masyarakat lokal. Program rehabilitasi mangrove, seperti penanaman kembali dan pengelolaan berbasis komunitas, telah menunjukkan hasil yang positif dalam meningkatkan kesehatan ekosistem dan keberlanjutan jasa ekosistem yang mereka sediakan. Jasa ekosistem adalah komponen vital yang mendukung kehidupan dan kesejahteraan manusia. Melalui pemahaman yang lebih mendalam tentang jenis,

pentingnya, dan tantangan dalam pelestarian jasa ekosistem, kita dapat mengembangkan strategi yang lebih efektif untuk menjaga dan memanfaatkan sumber daya alam secara berkelanjutan (Barbier, E. B., 2011). Pelestarian jasa ekosistem memerlukan kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan berbagai pihak terkait untuk memastikan bahwa ekosistem tetap sehat dan mampu mendukung kehidupan manusia di masa depan.

10.5 Pemberdayaan Masyarakat dalam Ekologi Restorasi

Ekologi restorasi adalah ilmu yang mempelajari dan menerapkan prinsip-prinsip ekologi untuk memulihkan ekosistem yang telah terdegradasi, rusak, atau hancur akibat aktivitas manusia atau bencana alam. Salah satu aspek kunci dalam ekologi restorasi adalah pemberdayaan masyarakat setempat, karena keberhasilan restorasi sering kali bergantung pada partisipasi aktif dan dukungan masyarakat. Artikel ini akan membahas pentingnya pemberdayaan masyarakat dalam ekologi restorasi, strategi pemberdayaan yang efektif, studi kasus, serta tantangan dan solusi yang dihadapi dalam upaya ini.

Partisipasi masyarakat adalah kunci keberhasilan restorasi ekosistem. Masyarakat setempat memiliki pengetahuan lokal yang berharga tentang ekosistem dan spesies yang ada di daerah mereka. Mereka juga memiliki keterikatan emosional dan budaya dengan lingkungan mereka, yang dapat menjadi motivasi kuat untuk terlibat dalam proyek restorasi. Melibatkan masyarakat dalam setiap tahap proyek restorasi, mulai dari perencanaan hingga pelaksanaan dan pemantauan, memastikan bahwa proyek tersebut sesuai dengan kebutuhan dan aspirasi mereka.

Pemberdayaan masyarakat dalam ekologi restorasi dapat meningkatkan kesejahteraan ekonomi dan sosial mereka. Proyek restorasi sering kali menciptakan lapangan kerja dan peluang ekonomi baru, seperti budidaya tanaman asli, ekowisata, dan jasa lingkungan. Selain itu, lingkungan yang sehat dan berfungsi baik menyediakan sumber daya alam yang berkelanjutan bagi masyarakat, seperti air bersih, kayu, dan produk non-kayu lainnya. Ketika masyarakat diberdayakan dan terlibat aktif dalam proyek restorasi, mereka cenderung merasa memiliki dan bertanggung jawab terhadap keberhasilan proyek tersebut. Rasa kepemilikan ini mendorong masyarakat untuk terus menjaga dan memelihara ekosistem yang telah dipulihkan, memastikan keberlanjutan jangka panjang dari upaya restorasi. Selain itu, masyarakat yang terlibat aktif dalam proyek restorasi cenderung lebih mungkin untuk menolak aktivitas merusak di masa depan, seperti deforestasi ilegal atau praktik pertanian yang tidak berkelanjutan (Fisher, B., 2009).

1. Strategi Pemberdayaan Masyarakat dalam Ekologi Restorasi meliputi hal-hal sebagai berikut :

Pendidikan dan Pelatihan : Memberikan pendidikan dan pelatihan kepada masyarakat tentang pentingnya ekologi restorasi dan teknik-teknik yang diperlukan adalah langkah pertama yang krusial. Program pendidikan lingkungan dapat meningkatkan kesadaran masyarakat tentang dampak negatif dari degradasi ekosistem dan manfaat dari restorasi. Pelatihan praktis dalam teknik restorasi, seperti penanaman pohon, pengelolaan air, dan rehabilitasi lahan kritis, dapat memberdayakan masyarakat untuk berperan aktif dalam proyek restorasi (IPBES, 2019).

Penguatan Kelembagaan : Membangun dan memperkuat kelembagaan lokal, seperti kelompok tani, koperasi, dan lembaga adat, dapat meningkatkan kapasitas masyarakat untuk mengelola proyek restorasi. Kelembagaan

yang kuat dapat memfasilitasi koordinasi antaranggota masyarakat, menyediakan platform untuk berbagi pengetahuan dan pengalaman, serta mengakses sumber daya dan dukungan eksternal. Selain itu, kelembagaan yang kuat dapat membantu memperjuangkan hak-hak masyarakat atas tanah dan sumber daya alam, yang sering kali menjadi isu penting dalam restorasi ekosistem.

Inklusi dan Kesenjangan Gender : Mendorong inklusi dan kesetaraan gender dalam proyek restorasi memastikan bahwa semua anggota masyarakat, termasuk perempuan dan kelompok marginal, memiliki kesempatan yang sama untuk berpartisipasi dan mendapatkan manfaat dari proyek tersebut. Pendekatan inklusif dapat meningkatkan efektivitas dan keberlanjutan proyek restorasi, karena berbagai perspektif dan keterampilan yang dibawa oleh anggota masyarakat yang berbeda dapat memperkaya proses pengambilan keputusan dan pelaksanaan proyek.

Pembangunan Ekonomi Lokal : Mengintegrasikan pembangunan ekonomi lokal ke dalam proyek restorasi dapat meningkatkan insentif bagi masyarakat untuk berpartisipasi dalam upaya restorasi. Proyek yang menciptakan peluang ekonomi baru, seperti pengembangan produk ekowisata atau pengolahan hasil hutan non-kayu, dapat memberikan manfaat langsung kepada masyarakat. Selain itu, dukungan untuk usaha kecil dan menengah yang berkelanjutan dapat membantu mengurangi ketergantungan masyarakat pada praktik-praktik yang merusak lingkungan.

Kolaborasi dan Kemitraan : Membangun kolaborasi dan kemitraan antara masyarakat, pemerintah, LSM, akademisi, dan sektor swasta dapat meningkatkan sumber daya dan kapasitas yang tersedia untuk proyek restorasi. Kemitraan yang kuat dapat membawa keahlian teknis, dukungan finansial, dan akses ke jaringan yang lebih luas,

yang semuanya dapat meningkatkan keberhasilan proyek restorasi. Selain itu, kolaborasi yang baik dapat memastikan bahwa semua pemangku kepentingan terlibat dan berkomitmen terhadap tujuan restorasi yang sama (Turner, R. K., 2008).

2. Kasus ekologi restorasi

a. Restorasi Mangrove di Desa Bedono, Demak

Desa Bedono di Kabupaten Demak, Jawa Tengah, adalah salah satu contoh sukses dari pemberdayaan masyarakat dalam ekologi restorasi. Daerah ini mengalami abrasi pantai yang parah akibat penebangan mangrove untuk tambak udang. Pada awal 2000-an, masyarakat setempat bekerja sama dengan LSM dan pemerintah untuk memulai proyek restorasi mangrove. Melalui pelatihan dan pendidikan, masyarakat belajar tentang pentingnya mangrove bagi perlindungan pantai dan ekosistem pesisir. Proyek ini melibatkan masyarakat dalam penanaman mangrove, pemantauan pertumbuhan, dan pengelolaan tambak yang berkelanjutan. Selain itu, masyarakat juga mengembangkan ekowisata mangrove, yang menyediakan pendapatan tambahan. Hingga kini, proyek restorasi mangrove di Bedono telah berhasil mengurangi abrasi pantai, meningkatkan kesejahteraan masyarakat, dan membangun kapasitas lokal untuk pengelolaan ekosistem pesisir yang berkelanjutan.

b. Restorasi Hutan Adat di Desa Buntui, Kalimantan Tengah

Desa Buntui di Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah, adalah contoh lain dari keberhasilan pemberdayaan masyarakat dalam restorasi ekologi. Hutan adat di daerah ini mengalami degradasi akibat aktivitas penebangan dan kebakaran

hutan. Masyarakat Dayak setempat, dengan dukungan dari LSM dan pemerintah, memulai proyek restorasi hutan adat.

Melalui program pendidikan dan pelatihan, masyarakat belajar teknik-teknik restorasi hutan dan pengelolaan lahan yang berkelanjutan. Mereka juga membentuk kelompok tani hutan dan koperasi untuk mengelola proyek restorasi secara kolektif. Selain itu, proyek ini mengintegrasikan pembangunan ekonomi lokal dengan mengembangkan produk-produk hasil hutan non-kayu, seperti madu dan kerajinan tangan. Proyek restorasi hutan adat di Buntoi telah berhasil memulihkan sebagian besar hutan yang rusak, meningkatkan ketahanan masyarakat terhadap kebakaran hutan, dan meningkatkan kesejahteraan ekonomi masyarakat melalui pemanfaatan hasil hutan yang berkelanjutan.

3. Tantangan dan Solusi dalam Pemberdayaan Masyarakat

a. Tantangan

Tantangan pemberdayaan Masyarakat adalah keterbatasan sumber daya yang meliputi keterbatasan dana dan sumber daya lainnya sering kali menjadi hambatan utama dalam proyek restorasi. Proyek restorasi yang membutuhkan investasi besar sering kali sulit dilaksanakan tanpa dukungan finansial yang memadai. Kurangnya Kapasitas Lokal : Kapasitas teknis dan manajerial masyarakat lokal sering kali terbatas, yang dapat menghambat pelaksanaan proyek restorasi yang efektif dan berkelanjutan. Tantangan berikutnya adalah konflik kepentingan antara berbagai pemangku kepentingan, seperti masyarakat, pemerintah, dan sektor swasta, dapat menghambat keberhasilan proyek restorasi serta ketidakpastian Hak Atas Tanah :

Ketidakpastian dan sengketa hak atas tanah sering kali menjadi hambatan besar dalam proyek restorasi, terutama di daerah-daerah yang memiliki masalah tenurial yang kompleks.

b. Solusi

Solusi dalam pemberdayaan Masyarakat dapat memperhatikan hal-hal berikut yaitu mobilisasi sumber daya dengan mengembangkan mekanisme pembiayaan yang inovatif, seperti pembayaran jasa lingkungan (PES) dan kemitraan publik-swasta, dapat membantu mengatasi keterbatasan dana dan sumber daya. Selanjutnya lakukan peningkatan kapasitas melalui program pendidikan dan pelatihan yang berkelanjutan dapat meningkatkan kapasitas teknis dan manajerial masyarakat, memungkinkan mereka untuk berperan aktif dalam proyek restorasi. Mediasi Konflik : Membangun mekanisme mediasi yang efektif untuk menyelesaikan konflik kepentingan dapat membantu menciptakan lingkungan yang kondusif untuk proyek restorasi. Partisipasi semua pemangku kepentingan dalam proses perencanaan dan pengambilan keputusan juga dapat mengurangi potensi konflik.

Pengakuan Hak Atas Tanah : Mendorong pengakuan hukum atas hak-hak masyarakat adat dan lokal atas tanah dan sumber daya alam mereka dapat membantu mengatasi ketidakpastian dan sengketa tenurial, serta meningkatkan rasa kepemilikan dan tanggung jawab masyarakat terhadap proyek restorasi.

10.6 Mitigasi Perubahan Iklim dalam Ekologi Restorasi

Perubahan iklim merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi umat manusia pada abad ke-21. Pemanasan global, peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer, dan peristiwa cuaca ekstrem merupakan beberapa gejala dari perubahan iklim yang sudah mulai dirasakan dampaknya di seluruh dunia. Dalam konteks ini, ekologi restorasi muncul sebagai salah satu strategi penting untuk mitigasi perubahan iklim. Ekologi restorasi adalah ilmu yang mempelajari dan menerapkan prinsip-prinsip ekologi untuk memulihkan ekosistem yang telah rusak atau terganggu agar kembali ke kondisi alami atau mendekati alami.

1. Konsep Dasar Ekologi Restorasi

Ekologi restorasi adalah disiplin ilmu yang berfokus pada pemulihan ekosistem yang telah rusak atau terganggu akibat aktivitas manusia atau bencana alam. Tujuan utamanya adalah mengembalikan fungsi ekosistem dan meningkatkan keanekaragaman hayati. Beberapa konsep dasar dalam ekologi restorasi meliputi:

- **Ekosistem Referensi:** Ekosistem yang dijadikan acuan atau model dalam upaya restorasi. Ekosistem ini dianggap mewakili kondisi alami atau mendekati alami yang diinginkan.
- **Pemulihan Ekologis:** Proses yang dilakukan untuk mengembalikan komponen dan fungsi ekosistem, termasuk struktur fisik, keanekaragaman hayati, dan interaksi ekologis.
- **Suksesi Ekologis:** Proses alami di mana komunitas biologis berubah seiring waktu menuju keadaan yang lebih stabil atau klimaks. Restorasi sering kali berusaha mempercepat atau memfasilitasi suksesi ini.

- Keberlanjutan: Restorasi harus mempertimbangkan keberlanjutan jangka panjang, memastikan bahwa ekosistem yang dipulihkan dapat mempertahankan fungsi dan keanekaragaman hayatinya tanpa intervensi berkelanjutan.

2. Peran Ekosistem dalam Menyerap Karbon

Ekosistem alami seperti hutan, lahan basah, padang rumput, dan ekosistem pesisir memiliki kemampuan luar biasa dalam menyerap dan menyimpan karbon dari atmosfer, yang dikenal sebagai sekuester karbon. Berikut adalah beberapa peran penting ekosistem dalam mitigasi perubahan iklim:

Peran Hutan: Hutan merupakan salah satu penyerap karbon terbesar di dunia. Pohon-pohon menyerap karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer melalui fotosintesis dan menyimpannya dalam bentuk biomassa (batang, cabang, daun) serta di tanah. Restorasi hutan yang rusak atau terdegradasi dapat meningkatkan kapasitas penyerapan karbon.

Peranan Lahan Basah: Lahan basah, termasuk rawa, gambut, dan mangrove, juga memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap karbon. Ekosistem ini menyimpan karbon dalam jumlah besar dalam bentuk bahan organik di tanah. Restorasi lahan basah dapat mengurangi emisi GRK dan meningkatkan penyerapan karbon (Sloan, S., & Sayer, 2015).

Peranan Padang Rumput: Padang rumput, terutama padang rumput alami, memiliki peran penting dalam siklus karbon. Restorasi padang rumput yang rusak dapat meningkatkan kapasitas penyerapan karbon tanah dan vegetasi.

Peranan Ekosistem Pesisir: Ekosistem pesisir seperti padang lamun dan terumbu karang juga berperan dalam menyerap karbon dan melindungi pantai dari erosi serta badai. Restorasi ekosistem pesisir dapat meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim.

3. Teknik-Teknik Restorasi yang Efektif

Restorasi ekologi melibatkan berbagai teknik dan pendekatan yang disesuaikan dengan jenis ekosistem dan tingkat kerusakan. Beberapa teknik restorasi yang efektif meliputi:

Penanaman Pohon: Salah satu teknik restorasi yang paling umum adalah penanaman pohon. Penanaman pohon di lahan yang terdegradasi dapat membantu memulihkan fungsi ekosistem, meningkatkan penyerapan karbon, dan menyediakan habitat bagi satwa liar.

Rehabilitasi Lahan Basah: Rehabilitasi lahan basah melibatkan pengembalian kondisi hidrologi alami, penanaman vegetasi asli, dan pengendalian spesies invasif. Upaya ini dapat meningkatkan penyerapan karbon dan menyediakan habitat bagi keanekaragaman hayati.

Pengendalian Erosi: Teknik ini melibatkan upaya untuk mengurangi erosi tanah melalui penanaman vegetasi penahan tanah, pembangunan terasering, dan penggunaan mulsa organik. Pengendalian erosi dapat meningkatkan stabilitas tanah dan mengurangi emisi karbon.

Pengelolaan Spesies Invasif: Spesies invasif dapat mengganggu keseimbangan ekosistem dan mengurangi kemampuan penyerapan karbon. Pengelolaan spesies invasif melibatkan pengendalian atau eradikasi spesies ini serta pemulihan vegetasi asli.

Restorasi Pesisir: Teknik restorasi pesisir meliputi penanaman vegetasi pesisir seperti mangrove, rehabilitasi terumbu karang, dan pengelolaan sedimentasi. Upaya ini dapat meningkatkan ketahanan pesisir terhadap perubahan iklim dan meningkatkan penyerapan karbon(Zakri, 2021).

4. Tantangan dan peluang dalam Ekologi Restorasi

Meskipun ekologi restorasi menawarkan banyak manfaat, terdapat beberapa tantangan yang perlu diatasi untuk mencapai keberhasilan jangka panjang. Tantangan-tantangan tersebut meliputi:

- **Pendanaan:** Restorasi ekologi memerlukan investasi finansial yang signifikan. Keterbatasan dana sering kali menjadi hambatan utama dalam pelaksanaan proyek restorasi.
- **Kapasitas Teknis:** Restorasi ekologi memerlukan pengetahuan dan keterampilan khusus. Keterbatasan kapasitas teknis dan sumber daya manusia dapat menghambat implementasi restorasi yang efektif.
- **Ketidakpastian Iklim:** Perubahan iklim yang cepat dan tidak terduga dapat mempengaruhi keberhasilan restorasi. Ketidakpastian iklim memerlukan pendekatan adaptif dalam perencanaan dan pelaksanaan restorasi.
- **Konflik Penggunaan Lahan:** Konflik antara berbagai kepentingan penggunaan lahan, seperti pertanian, pemukiman, dan industri, dapat menghambat upaya restorasi. Penyelesaian konflik ini memerlukan pendekatan yang inklusif dan partisipatif.
- **Pemantauan dan Evaluasi:** Pemantauan jangka panjang dan evaluasi keberhasilan restorasi sering kali kurang dilakukan. Tanpa pemantauan yang

memadai, sulit untuk menilai efektivitas dan keberlanjutan upaya restorasi.

Selain tantangan, terdapat juga berbagai peluang yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung mitigasi perubahan iklim melalui ekologi restorasi. Peluang pendanaan hijau, dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya mitigasi perubahan iklim telah mendorong lahirnya berbagai inisiatif pendanaan hijau. Dana-dana ini dapat dimanfaatkan untuk mendukung proyek-proyek restorasi ekologi. Pengembangan inovasi teknologi, dengan emajuan teknologi dalam pemetaan, pemantauan, dan analisis data memberikan peluang untuk meningkatkan efektivitas restorasi. Teknologi seperti drone, sensor tanah, dan citra satelit dapat digunakan untuk memantau kondisi ekosistem dan keberhasilan restorasi. Partisipasi komunitas yaitu Keterlibatan komunitas lokal dalam upaya restorasi dapat meningkatkan keberhasilan dan keberlanjutan jangka panjang. Partisipasi komunitas dapat mencakup pengelolaan bersama, pengawasan, dan pemanfaatan pengetahuan lokal. Kolaborasi Internasional: Kerjasama internasional dalam bentuk pertukaran pengetahuan, sumber daya, dan pendanaan dapat mendukung upaya restorasi di berbagai negara. Inisiatif global seperti Konvensi PBB tentang Keanekaragaman Hayati (CBD) dan Protokol Kyoto dapat menjadi platform untuk kolaborasi. Pengakuan terhadap nilai ekosistem melalui peningkatan kesadaran akan nilai ekosistem dalam mendukung kehidupan manusia, termasuk dalam mitigasi perubahan iklim, dapat mendorong kebijakan yang mendukung restorasi ekologi. Pengakuan nilai ekonomi dan ekologi dari ekosistem yang dipulihkan dapat menjadi pendorong kebijakan yang lebih baik (Clewel, A. F., 2013).

Indonesia memiliki salah satu kawasan hutan tropis terbesar di dunia, yang memainkan peran penting dalam keseimbangan ekologi global dan mitigasi perubahan iklim. Namun, hutan-hutan ini menghadapi ancaman serius dari

deforestasi, degradasi, dan konversi lahan untuk pertanian, pemukiman, dan industri. Restorasi hutan di Indonesia menjadi krusial untuk memulihkan fungsi ekosistem, meningkatkan penyerapan karbon, dan melestarikan keanekaragaman hayati. Studi kasus ini akan mengulas berbagai inisiatif restorasi hutan di Indonesia, teknik-teknik yang digunakan, tantangan yang dihadapi, serta hasil dan dampaknya terhadap mitigasi perubahan iklim.

Indonesia memiliki luas hutan sekitar 125 juta hektar, namun mengalami laju deforestasi yang tinggi terutama sejak tahun 1990-an. Penyebab utama deforestasi meliputi pembalakan liar, kebakaran hutan, konversi lahan untuk perkebunan kelapa sawit, dan pembangunan infrastruktur. Degradasi hutan tidak hanya mengurangi kemampuan penyerapan karbon, tetapi juga mengancam habitat satwa liar dan kesejahteraan komunitas lokal yang bergantung pada hutan(Kehutanan, 2019).

Beberapa teknik yang digunakan dalam restorasi hutan di Indonesia meliputi:

Penanaman Kembali (*Reforestation*) dengan melibatkan penanaman bibit pohon di area yang telah mengalami deforestasi. Spesies pohon yang dipilih biasanya merupakan spesies asli yang cocok dengan kondisi lingkungan setempat, sebagai Contoh Program penanaman kembali di kawasan hutan produksi yang telah rusak. Teknik rehabilitasi hutan alam (Forest Rehabilitation) pada pemulihan fungsi ekologis hutan yang terdegradasi dengan cara memperbaiki struktur vegetasi dan meningkatkan keanekaragaman hayati, sebagai contoh rehabilitasi hutan di Taman Nasional Gunung Leuser. Teknik agroforestry melalui sistem penggunaan lahan yang mengkombinasikan tanaman pertanian dengan pohon-pohon untuk menciptakan keuntungan ekologi dan ekonomi, contoh pengembangan sistem agroforestri di lahan kritis di Sulawesi.

Teknik pengendalian erosi dan terasering dengan melibatkan pembangunan terasering di lahan miring untuk mencegah erosi dan meningkatkan infiltrasi air, contoh pengendalian erosi di lahan pertanian di Sumatera Barat.

Tantangan dalam Restorasi Hutan di Indonesia adalah pendanaan yang mana restorasi hutan memerlukan biaya yang besar, baik untuk penanaman bibit, perawatan, maupun pemantauan. Keterbatasan dana sering menjadi kendala utama. Kapasitas teknis yaitu kurangnya tenaga ahli dan pengetahuan teknis dalam melakukan restorasi yang efektif. Konflik penggunaan lahan dan perubahan iklim yang cepat dan tidak dapat diprediksi dapat mempengaruhi keberhasilan restorasi hutan (FAO, 2020).

Restorasi hutan di Indonesia merupakan langkah penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim dan pelestarian keanekaragaman hayati. Meskipun menghadapi berbagai tantangan, inisiatif restorasi yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan, teknik yang tepat, dan dukungan kebijakan dapat memberikan hasil yang signifikan. Keberhasilan restorasi hutan tidak hanya memberikan manfaat lingkungan, tetapi juga sosial dan ekonomi bagi masyarakat. Oleh karena itu, investasi dalam restorasi hutan harus terus ditingkatkan sebagai bagian dari strategi pembangunan berkelanjutan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Barbier, E. B., et al. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169-193.
- Clewell, A. F., & Aronson, J. (2013). *Ecological Restoration: Principles, Values, and Structure of an Emerging Profession**. Island Press.
- FAO. (2020). *The State of the World's Forests 2020*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fisher, B., et al. (2009). Integrating ecosystems services and economic theory. *Ecological Applications*, 19(8), 2053-2067.
- IPBES. (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services*. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2019). *Laporan Kinerja Direktorat Jenderal Konservasi Sumber Daya Alam dan Ekosistem 2019*. Jakarta: KLHK.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis*. World Resources Institute.
- Setyawati, T. R., & Wibowo, S. (2018). *Konservasi Keanekaragaman Hayati di Indonesia: Tantangan dan Strategi Pengelolaan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Sloan, S., & Sayer, J. A. (2015). Forest Resources Assessment of 2015 shows positive global trends but forest loss and degradation persist in poor tropical countries. *Forest Ecology and Management*, 352, 134-145.

- Turner, R. K., et al. (2008). Valuing ecosystem services: Methodological issues and case studies. Earthscan.
- Zakri, A. H. (2021). Mengapa Keanekaragaman Hayati Penting bagi Manusia. Jakarta: Kompas Gramedia.

BIODATA PENULIS



Randi Syafutra, S.Si., M.Si.

Program Studi Konservasi Sumber Daya Alam
Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung

Penulis lahir di Kota Pangkalpinang pada tanggal 6 Mei 1992, yang memiliki ayah bernama Mulkan dan ibu bernama Sumarti, serta istri bernama Dita Amelia, S.Pd.Gr. Penulis juga memiliki saudara kandung bernama Rian Pebriansyah, S.T. dan Rio Santri Kurniawan. Penulis memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) di Universitas Bangka Belitung (UBB) pada tahun 2013 dan Magister Sains (M.Si.) di Institut Pertanian Bogor (IPB) pada tahun 2016. Penulis memiliki fokus riset terkait konservasi hayati dan rehabilitasi lingkungan. Penulis juga bersertifikasi BNSP pada bidang Lingkungan Hidup (*Environment*) dengan kualifikasi sebagai *Drafting Team Member of Environmental Impact Analysis*. Penulis merupakan dosen tetap dan Ketua Program Studi Konservasi Sumber Daya Alam Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung (Prodi KSDA Unmuh Babel) Periode 2021-2023.

BIODATA PENULIS



Apt. Annysa Ellycornia Silvyana, S.Farm., M.Farm.

Dosen Program Studi Farmasi

Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Medistra Indonesia

Penulis lahir di Jakarta tanggal 15 Juli 1993. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Farmasi, Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Medistra Indonesia. Menyelesaikan pendidikan S1 Farmasi, kemudian Profesi Apoteker dan melanjutkan S2 pada Jurusan Farmasi. Kiprahnya di dunia pendidikan dimulai saat menjadi asisten dosen sejak kuliah S1 Farmasi. Selain menjalani profesi sebagai dosen, juga menggeluti dunia farmasi sebagai apoteker dan menggeluti dunia penulisan.

BIODATA PENULIS



Dr. Andi Faridah Arsal, S. Si., M. Si.

Dosen Program Studi Pendidikan Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Makassar

Lahir di Makassar pada tanggal 18 Juli 1970 adalah dosen di Jurusan Biologi FMIPA Universitas Negeri Makassar. Mulai menempuh Pendidikan pada usia 7 tahun di SD Negeri kompleks Butung, Makassar. Melanjutkan sekolah lanjutan di SMP Negeri 5 Makassar dan SMA Negeri 4 Makassar. Gelar sarjana Strata 1 diperoleh dari Jurusan Biologi FMIPA Universitas Hasanuddin. Gelar Sarjana Strata 2 diperoleh dari Jurusan Genetika molekular Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada. Tahun 2019 menyelesaikan Pendidikan S3 di Program Studi Pendidikan Kependudukan dan Lingkungan Hidup, Universitas Negeri Makassar.

Bekerja sebagai tenaga edukatif di Jurusan Biologi FMIPA Universitas Negeri Makassar sejak tahun 2005. Mengajar mata kuliah Bioteknologi selama 8 tahun. Mengajar mata kuliah Genetika, Genetika Molekular, dan Pendidikan Lingkungan Hidup hingga saat ini.

Karya yang pernah dihasilkan antara lain;

Memperoleh HAKI dengan nomor EC002023126126 pada tanggal 31 Oktober 2023, dengan Jenis ciptaan karya ilmiah dengan judul “Rancangan Strategi Pembelajaran Karyotip-Koperatif pada Mata Kuliah Genetika.

Menjadi Editor di buku motivasi ;1). Law of Attraction, Rahasia Mewujudkan Kehidupan Terbaik di bidang Pribadi, Keluarga, Profesional, Sosial dan Spiritual, 2010. Penerbit AAI, Makassar.2). Living with Miracles, Gunakan 9 Keajaiban Diri Anda untuk Hidup Bahagia & Sukses Luar Biasa, 2013. Penerbit PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.

Menulis Buku Ajar dan buku referensi; 1). Genetika I Arif Memahami Kehidupan, 2018 Penerbit UNM. 2). Model Pembelajaran Berbasis Lingkungan pada Mata Kuliah Genetika, 2018. Penerbit Agma. 3). Perangkat Pembelajaran Berbasis Lingkungan pada Mata Kuliah Genetika, 2018. Penerbit Agma. 4). Pemanfaatan Elektronik untuk Pembelajaran Aktif berbasis Keterampilan Proses Sains. 5) Strategi Pembelajaran Kelompok-Karyotip pada Mata Kuliah Genetika, 2023. Penerbit AGMA.

Motto: “ Setiap orang memiliki potensi tanpa batas, sehingga belajar apapun pasti akan bisa” serta “Terus belajar, terus berkembang”.

BIODATA PENULIS



Aidil Adhani, S.Pd., M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Biologi
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Borneo Tarakan

Penulis lahir di Takalar tanggal 17 Juli 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Borneo Tarakan. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Biologi Universitas Negeri Makassar dan melanjutkan S2 pada Jurusan Pendidikan Biologi Universitas Negeri Malang. Penulis menekuni bidang menulis sejak menjadi dosen. Sebelumnya penulis telah menerbitkan tiga buku yaitu Media Pembelajaran Biologi, Pola Venasi Ental Tumbuhan Paku (Polypodiales), dan Teknologi Pendidikan.

BIODATA PENULIS



Dr. Iriani Setyawati, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, dan Kebumian
Universitas Negeri Manado

Penulis lahir di Surabaya tanggal 17 September 1974. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi Fakultas Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, dan Kebumian, Universitas Negeri Manado. Menyelesaikan pendidikan S1 Zoologi dan S2 Biologi pada Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada dan melanjutkan S3 pada Ilmu Peternakan Universitas Udayana. Penulis menekuni bidang Struktur, Perkembangan dan Fisiologi Hewan.

BIODATA PENULIS



Ningsi Saibi, S.Pd., M.Si.

Dosen Program Studi Pendidikan Biologi
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Khairun

Penulis lahir di Ternate pada tanggal 19 Desember 1990. Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Khairun. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi di Universitas Khairun dan melanjutkan S2 pada Jurusan Biologi di ITB.

BIODATA PENULIS



WD. Syarni Tala, S.Si., M.Sc.

Dosen Program Studi Pendidikan Biologi
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Khairun

Penulis lahir di Baubau tanggal 5 November 1991. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Khairun. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Halu Oleo pada tahun 2013, kemudian pada tahun 2014 melanjutkan pendidikan S2 pada Jurusan Biologi, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada (UGM) dan lulus pada tahun 2016.

BIODATA PENULIS



Dra. Daawia M. Sc.

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas MIPA Universitas Cenderawasih

Penulis lahir di Bau-Bau Sulawesi Tenggara tanggal 4 Maret 1968. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi, FMIPA, Universitas Cenderawasih. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Biologi, FKIP, Universitas Cenderawasih dan melanjutkan S2 pada Jurusan Entomology, University of The Philippines Los Banos (UPLB). Bidang interest adalah Konservasi alam khususnya pelestarian kupu-kupu.

BIODATA PENULIS



Dr. Silfia Ilma, M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Biologi
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Borneo Tarakan

Penulis lahir di Tarakan 24 Desember 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Borneo Tarakan. Penulis saat ini aktif dalam menulis artikel dan buku. Penulis saat ini menekuni bidang tumbuhan dan pendidikan. Penulis aktif sebagai peneliti dibidang ekologi tumbuhan. Analisis vegetasi tumbuhan lokal Kantung Semar (*Nepenthes* sp.) telah dilakukan di berbagai Hutan Kalimantan Utara. Selain itu penulis juga telah mengkaji pemanfaatan tumbuhan lokal oleh masyarakat adat yang ada di Kalimantan Utara.