

BIOLOGI: MEMPELAJARI KEAJAIBAN HIDUP DI DUNIA

**Analekta Tiara Perdana
Suharno Zen
Ashari Bagus Setiawan
Febriana Siska
Isna Arofatus Nikmah
Nurchahyo Widyodaru Saputro
Safrida
Zulkarnaim
I Wayan Suanda
Ite Morina Yostianti Tnunay
Juhardi Sembiring
Vivin Kusumaningrum
Oktavius Yoseph Tuta Mago
Reisky Megawati Tammu**



GET PRESS INDONESIA

BIOLOGI: MEMPELAJARI KEAJAIBAN HIDUP DI DUNIA

Penulis :

Analekta Tiara Perdana
Suharno Zen
Ashari Bagus Setiawan
Febriana Siska
Isna Arofatus Nikmah
Nurchahyo Widyodaru Saputro
Safrida
Zulkarnaim
I Wayan Suanda
Ite Morina Yostianti Tnunay
Juhardi Sembiring
Vivin Kusumaningrum
Oktavius Yoseph Tuta Mago
Reisky Megawati Tammu

ISBN :

Editor : Dr. Neila Sulung, S.Pd., Ns., M.Kes.

Penyunting : Ilda Melisa, Amd.Kep

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

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat
Website : www.getpress.co.id
Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, November 2023

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

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Biologi: Mempelajari Keajaiban Hidup Di Dunia ini.

Buku ini membahas Pengenalan dan Ruang Lingkup Biologi, Sejarah dan Perkembangan Biologi, Cabang-cabang Biologi, Ekosistem dan Lingkungan, Evolusi dan Adaptasi, Keanekaragaman Hayati, Anatomi dan Fisiologi, Reproduksi dan Perkembangan, Mikroorganisme dan Penyakit, Tumbuhan: Kehidupan Hijau, Pengaruh Biologi dalam Teknologi dan Industri, Peran Biologi dalam Kesehatan Manusia, Etika dalam Penelitian Biologi, Inovasi dan Riset Terbaru dalam Biologi.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, November 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	x
BAB 1 PENGENALAN DAN RUANG LINGKUP BIOLOGI.....	1
1.1 Pengenalan Biologi.....	1
1.2 Ruang Lingkup Biologi.....	2
1.2.1 Semua Dimulai dalam Sebuah Sel	2
1.2.2 Reproduksi dan Genetika	3
1.2.3 Ekosistem dan Evolusi.....	3
1.2.4 Anatomi dan Fisiologi Hewan	4
1.2.5 Perbandingan Hewan dan Tumbuhan.....	5
1.3 Sifat-sifat Kehidupan.....	6
1.3.1 Susunan dan Sel.....	8
1.3.2 Respons Terhadap Rangsangan	9
1.3.3 Homeostasis	9
1.3.4 Metabolisme	9
1.3.5 Pertumbuhan dan Perkembangan	10
1.3.6 Reproduksi	11
1.3.7 Perubahan dari Waktu ke Waktu	11
1.4 Prinsip-prinsip Biologi.....	12
DAFTAR PUSTAKA.....	14
BAB 2 SEJARAH DAN PERKEMBANGAN BIOLOGI	15
2.1 Pengertian Biologi.....	15
2.2 Sejarah biologi	15
2.3 Karakteristik Makhluk Hidup.....	17
2.4 Ruang lingkup biologi	18
2.5 Manfaat biologi.....	20
2.6 Biologi perkembangan	22
2.7 Metode ilmiah dalam biologi	23
2.8 Biologi sebagai ilmu spiritual	25
DAFTAR PUSTAKA.....	26
BAB 3 CABANG-CABANG BIOLOGI	27
3.1 Pendahuluan	27
3.2 Cabang-cabang Biologi.....	28

3.2.1 Morfologi.....	29
3.2.2 Anatomi.....	30
3.2.3 Sistematika	31
3.2.4 Fisiologi.....	32
3.2.5 Genetika	34
3.2.6 Ekologi.....	35
3.2.7 Histologi.....	35
3.2.8 Virologi.....	36
3.2.9 Mikologi.....	38
3.2.10 Bakteriologi.....	38
3.2.11 Evolusi.....	39
3.2.12 Entomologi	40
3.2.13 Etologi	40
3.2.14 Mamologi	41
3.2.15 Paleontologi	41
3.2.16 Biologi Forensik.....	44
3.2.17 Biogeografi.....	44
3.2.18 Ornitologi.....	45
3.2.19 Astrobiologi.....	46
3.2.20 Biofisika.....	46
DAFTAR PUSTAKA.....	47
BAB 4 EKOSISTEM DAN LINGKUNGAN	53
4.1 Pendahuluan	53
4.2 Ekosistem	53
4.2.1 Komponen Ekosistem	54
4.2.2 Interaksi dalam Ekosistem	56
4.2.3 Macam-macam Ekosistem	60
4.3 Lingkungan.....	64
4.3.1 Jenis lingkungan.....	65
4.3.2 Manfaat Lingkungan	65
DAFTAR PUSTAKA.....	66
BAB 5 EVOLUSI DAN ADAPTASI.....	67
5.1 Evolusi.....	67
5.1.1 Evolusi Sebelum Masa Darwin.....	67
5.1.2 Teori Evolusi Darwin	69
5.1.3 Teori Evolusi Setelah Darwin.....	72
5.2 Adaptasi.....	74

5.2.1 Jenis-jenis Adaptasi	75
5.2.2 Seleksi Alam.....	78
5.2.3 Adaptasi Mendorong Evolusi.....	80
5.2.4 Ancaman Terhadap Biodiversitas	82
DAFTAR PUSTAKA.....	92
BAB 6 KEANEKARAGAMAN HAYATI	95
6.1 Pendahuluan	95
6.2 Konsep Dasar Keanekaragaman Hayati	96
6.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Keanekaragaman Hayati.....	99
6.4 Metode Pengukuran dan Pemantauan Keanekaragaman Hayati.....	101
6.5 Manfaat Keanekaragaman Hayati.....	103
6.6 Ancaman terhadap Keanekaragaman Hayati.....	106
6.7 Upaya Pelestarian dan Perlindungan Keanekaragaman Hayati.....	110
DAFTAR PUSTAKA.....	112
BAB 7 ANATOMI DAN FISILOGI.....	113
7.1 Keajaiban Uterus (Rahim)	113
7.2 Keajaiban Kulit.....	115
7.3 Keajaiban Otak.....	117
7.4 Keajaiban Mata.....	120
7.5 Keajaiban Telinga.....	122
7.6 Simpulan	123
DAFTAR PUSATAKA	125
BAB 8 REPRODUKSI DAN PERKEMBANGAN	129
8.1 Pendahuluan	129
8.2 Reproduksi dan Perkembangan Sel	130
8.2.1 Siklus sel	130
8.2.2 Regenerasi dan Diferensiasi Sel	132
8.3 Siklus Reproduksi	134
8.4 Organ Reproduksi.....	138
8.4.1 Organ Reproduksi Hewan Jantan	138
8.4.2 Organ Reproduksi Hewan Betina	143
8.5 Fertilisasi.....	147
8.6 Perkembangan Hewan.....	147
8.6.1 Fase Embrionik	147

8.6.2 Fase Morfogenesis.....	148
DAFTAR PUSTAKA.....	156
BAB 9 MIKROORGANISME DAN PENYAKIT	157
9.1 Pendahuluan	157
9.2 Mikroorganisme	159
9.2.1 Mikroorganisme dan Penyakit.....	161
9.2.2 Bentuk Interaksi Mikroba dengan Lingkungan.....	162
9.2.2 Prokariotik dan Eukariotik.....	164
9.3 Mikroorganisme Bermanfaat Bagi Manusia.....	168
9.3.1 Kesehatan	169
9.3.2 Pertanian.....	169
9.3.3 Industri	170
9.4 Mikroorganisme Merugikan Manusia.....	171
DAFTAR PUSTAKA.....	172
BAB 10 TUMBUHAN: KEHIDUPAN HIJAU.....	175
10.1 Pendahuluan	175
10.2 Morfologi Tumbuhan.....	175
10.2.1 Akar.....	175
10.2.2 Batang.....	176
10.2.3 Daun.....	177
10.2.4 Bunga.....	178
10.2.5 Buah	178
10.2.6 Biji.....	179
10.2 Struktur Jaringan Tumbuhan	179
10.3 Struktur Anatomi Organ Tumbuhan.....	181
10.4 Fisiologi Tumbuhan.....	183
10.4.1 Transpirasi.....	183
10.4.2 Fotosintesis	184
10.4.3 Respirasi	185
DAFTAR PUSTAKA.....	186
BAB 11 HEWAN: MENJELAJAHI DUNIA BINATANG	187
11.1 Definisi Hewan dari Sudut Pandang Sains	187
11.2 Klasifikasi Hewan Berdasarkan Struktur Tubuh	188
11.2.1 Hewan Vertebrata.....	188
11.2.2 Hewan Avertebrata	193
11.3 Hewan dan Habitatnya.....	199
11.4 Bentuk Adaptasi Hewan.....	205

11.5 Perlindungan Hewan Langka Indonesia.....	207
DAFTAR PUSTAKA.....	208
BAB 12 PERAN BIOLOGI DALAM KESEHATAN MANUSIA	209
12.1 Pengertian Ilmu Biologi dalam Kesehatan.....	209
12.2 Peran Biologi dalam Dunia Kesehatan	209
DAFTAR PUSTAKA.....	212
BAB 13 ETIKA DALAM PENELITIAN BIOLOGI	213
13.1 Pendahuluan	213
13.2 Bioetika	215
13.3 Bioetika dalam Penelitian	218
13.3.1 Penggunaan Hewan Uji dalam Penelitian	218
13.3.2 Tumbuhan sebagai Objek Penelitian	219
13.3.3 Manusia sebagai Subjek Penelitian Bioteknologi dan Biomedis.....	220
13.3.4 Etika Penelitian Lingkungan	223
13.4 Penutup	224
DAFTAR PUSTAKA.....	225
BAB 14 INOVASI DAN RISET TERBARU DALAM BIOLOGI.....	229
14.1 Pendahuluan	229
14.1.1 Genetika dan Biologi Molekuler.....	230
14.1.2 Botani dan Mikologi.....	232
14.1.3 Virologi dan Mikrobiologi	240
14.1.4 Zoologi	242
14.1.5 Ekologi.....	243
DAFTAR PUSTAKA.....	245
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Organisasi Hierarkis Makhluk Hidup.....	7
Gambar 1.2. Tingkatan Susunan Makhluk Hidup.....	9
Gambar 1.3. Pembelahan Sel Organisme Uniseluler <i>Escherichia coli</i>	10
Gambar 1.4. Katak <i>Centrolenella</i> sp. Menghasilkan Banyak Telur	11
Gambar 2.1. Struktur Biologi	20
Gambar 3.1. Keratan kue lapis yang menggambarkan cabang-cabang dalam biologi	29
Gambar 3.2. Sejarah perkembangan fisiologi.....	33
Gambar 3.3. Awal mula genetika. A. Gregor Mendel, sang bapak Genetika; B. Kacang ercis yang digunakan oleh Mendel: biji halus (bawah) dan biji kisut (atas).....	34
Gambar 3.4. Contoh gambaran histopatologi. Terlihat adanya potongan <i>Demodex</i> sp. Pada folikel rambut kulit (). Pewarnaan HE (Hematoxylin dan eosin)	36
Gambar 3.5. Struktur tubuh virus (A) dan perbandingan ukuran virus terhadap mikroorganisme lain (B)	37
Gambar 3.6. Pembentukan batuan endapan dan endapan fosil dari beberapa periode waktu yang berbeda, masing-masing stratum menggambarkan suatu periode tertentu dalam sejarah bumi ditandai oleh suatu kumpulan fosil organisme yang hidup saat itu	42
Gambar 3.7. Foto 1 hingga 12 merupakan dokumentasi yang menunjukkan interaksi antara tumbuhan dan Arthropoda yang terjadi di zaman Paleozoikum dan Mesozoikum	43
Gambar 3.8. Zonasi biogeografi pada tumbuhan dan hewan	45
Gambar 4.1. Rantai Makanan	59

Gambar 4.2. Jaring-jaring Makanan.....	59
Gambar 4.3. Piramida makanan.....	60
Gambar 6.1. Perubahan suhu bumi 50 tahun terakhir	99
Gambar 6.2. Kegiatan penginventarisan tanaman	101
Gambar 6.3. Pemantauan satwa liar di hutan.....	102
Gambar 6.4. Kawasan ekowisata hutan mangrove penajam.....	104
Gambar 6.5. Jamu, obat tradisional yang berasal dari kekayaan hayati warisan budaya Indonesia	105
Gambar 6.6. Deforestasi hutan Kalimantan	107
Gambar 6.7. Polusi di kota besar, mengakibatkan perubahan iklim	108
Gambar 6.8. Padatnya stasiun kereta api oleh pendatang dari desa ke kota	109
Gambar 8.1. Siklus sel	132
Gambar 8.2. Sel-sel apusan vagina pada mencit.	136
Gambar 8.3. Struktur anatomi testis.....	139
Gambar 8.4. Penampang melintang tubulus seminiferus	140
Gambar 8.5. Pembentukan Organ Dengan Cara Fusi.....	149
Gambar 8.6. Organ dari turunan lapisan embrionik.....	152
Gambar 8.7. Asal dan turunan lapisan-lapisan lembaga ektoderm, mesoderm dan endoderm pada embrio manusia.	152
Gambar 8.8. Pembentukan telencephalon dan diencephalon pada otak manusia	153
Gambar 8.9. Perkembangan otak.....	154
Gambar 10.1. Daun tunggal dan daun majemuk. a. daun tunggal, b. daun majemuk.	177
Gambar 10.2. Struktur anatomi jaringan tumbuhan. a. akar; b. batang; c. daun.....	182
Gambar 11.1. Morfologi atau bagian tubuh dari aves ..	192
Gambar 11.2. Jerapah dan Zebra.....	201
Gambar 11.3. Ilustrasi habitat semut yang ada di dalam tanah dari kelompok famili <i>Formicidae</i>	202
Gambar 11.4. Tupai (<i>Tupaia minor</i>), merupakan salah satu jenis hewan yang bersifat arboreal .	203

Gambar 13.1. Sumber-sumber <i>stem cell</i>	221
Gambar 13.2. Skema <i>therapeutic cloning</i> dan <i>reproductive cloning</i>	211
Gambar 14.1. Jamur landak ratu (<i>Hydnum reginae</i>).	232
Gambar 14.2. <i>Carpotroche caceresiae</i>	233
Gambar 14.3. <i>Victoria boliviana</i>	233
Gambar 14.4. <i>Gomphostemma phetchaburiense</i>	234
Gambar 14.5. <i>Sternbergia mishustinii</i>	235
Gambar 14.6. <i>Hanguana sitinurbayai</i>	236
Gambar 14.7. <i>Bulbophyllum wiratnoi</i>	236
Gambar 14.8. <i>Hoya batutikarensi</i>	s237
Gambar 14.9. <i>Hoya buntokensis</i>	238
Gambar 14.10. <i>Dendrobium dedeksantoso</i>	238
Gambar 14.11. <i>Rigiolepis argentii</i>	239
Gambar 14.12. <i>Begonia robii</i>	239
Gambar 14.13. <i>Begonia willemii</i>	240
Gambar 14.14. <i>Etlingera comosa</i>	240
Gambar 14.15. <i>Myzomela irianawidodoae</i>	242

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Urutan metode ilmiah.....	24
Tabel 7.1. Data Otak Manusia	118
Tabel 8.1. Perbedaan pertumbuhan dan perkembangan sel hewan dan tumbuhan.....	133

BAB 1

Pengenalan dan Ruang Lingkup Biologi

Oleh Analekta Tiara Perdana

1.1 Pengenalan Biologi

Biologi berasal dari bahasa Yunani, yaitu *bios*, yang berarti kehidupan, dan *logos* yang berarti kata atau pengetahuan. Oleh karena itu, biologi dikenal sebagai Ilmu Hayati. Ilmu pengetahuan telah dibagi menjadi banyak subdisiplin, seperti botani, bakteriologi, anatomi, zoologi, histologi, mikologi, embriologi, parasitologi, genetika, biologi molekuler, sistematika, imunologi, mikrobiologi, fisiologi, biologi sel, sitologi, ekologi, virologi dan lain sebagainya. Cabang ilmu pengetahuan lainnya termasuk atau terdiri dari bagian dari studi biologi, termasuk paleontologi, taksonomi, evolusi, fikologi, helimentologi, protozoologi, entomologi, biokimia, biofisika, biomatematika, biorekayasa, bioklimatologi, antropologi dan lain sebagainya (Doerder and Gibson, 2015).

Biologi adalah ilmu yang mempelajari kehidupan, seperti kehidupan yang menutupi permukaan bumi bagaikan selimut hidup, memenuhi setiap sudut dan celah dari kegelapan gua dan gurun kering hingga samudra biru dan hutan hujan lebat. Makhluk hidup berinteraksi dengan semua lingkungan ini dan satu sama lain, membentuk kompleks, jaringan kehidupan yang saling berhubungan. Bagi banyak orang, berjalan-jalan di hutan atau ke pantai adalah kesempatan untuk terhubung kembali dengan alam dan menikmati keindahan hidup. Semua kehidupan ada di sekitar kita, mulai dari mikrob tak terlihat dan tumbuhan hijau hingga hewan. Terlebih lagi, makhluk hidup tersebut tidak hanya ada di sekitar kita, mereka saling berhubungan erat dengan kehidupan manusia. Tumbuhan membuat makanan dan menyediakan oksigen, mikrob memecah benda mati dan mendaur ulang bahan yang dibutuhkan semua makhluk hidup, dan serangga menyerbuki

tumbuhan sebagai sumber makanan. Pada akhirnya, semua makhluk hidup bergantung pada makhluk hidup lain untuk kelangsungan hidupnya. Biologi begitu hebat, sehingga memungkinkan eksplorasi keterkaitan organisme-organisme di dunia dan benar-benar memahami bahwa makhluk hidup itu adalah karya seni luar biasa. Organisme bisa sehalus bunga liar pegunungan atau semenakjubkan singa yang agung. Terlepas dari itu baik itu tumbuhan, hewan, atau mikrob, semua makhluk hidup mempunyai berbagai macam bagian yang berkontribusi pada keseluruhan fungsi makhluk hidup. Makhluk hidup bergerak, memperoleh energi, menggunakan bahan mentah, dan menghasilkan limbah, sederhana apapun baik organisme bersel tunggal atau serumit manusia. Biologi adalah kunci yang diperlukan untuk membuka misteri kehidupan. Biologi menemukan bahwa organisme bersel tunggal pun memiliki kompleksitasnya sendiri, mulai dari struktur yang unik hingga metabolisme yang beragam. Biologi juga membantu menyadari keajaiban tubuh manusia, dengan berbagai macam sistem yang bekerja sama untuk memindahkan material, mendukung struktur, mengirim sinyal, melindungi diri dari benda asing, memperoleh materi dan energi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan lain sebagainya (Kratz and Siegfried, 2010).

1.2 Ruang Lingkup Biologi

1.2.1 Semua Dimulai dalam Sebuah Sel

Unit terkecil mutlak kehidupan adalah sel. Tentu saja jumlah sel yang manusia miliki bukanlah satu-satunya perbedaan manusia dan *Escherichia coli*. Struktur sel manusia sedikit berbeda, sel manusia memiliki kompartemen internal yang lebih khusus, seperti nukleus yang di dalamnya terdapat DNA, namun ada juga beberapa kesamaan. Baik manusia maupun *E. coli* terbuat dari bahan mentah yang sama dan memiliki DNA sebagai materi genetik. Manusia juga menggunakan makanan yang sama serta membangun protein dengan cara yang sama (Doerder and Gibson, 2015).

1.2.2 Reproduksi dan Genetika

Manusia memulai hidup sebagai satu sel, ketika sel sperma dari ayah bertemu dengan sel telur dari ibu. Orang tua berhasil membuat sel-sel reproduksi ini melalui pembelahan sel khusus yang disebut meiosis. Ketika sel reproduksi mereka digabungkan, ayah dan ibu masing-masing menyumbangkan setengah dari informasi genetik, yaitu 23 kromosom dari ibu dan 23 dari ayah dengan total 46 kromosom di setiap sel. Gen pada 46 kromosom tersebut menentukan karakteristik manusia, mulai dari penampilan fisik hingga sebagian besar perilaku. Ilmu genetika melacak pewarisan gen dan mempelajari bagaimana gen menentukan sifat. Melalui genetika, perbedaan warna kulit atau sifat tertentu yang tampaknya diturunkan dalam keluarga dapat dipahami. Gen terdapat pada DNA, yang kemudian ditemukan pada kromosom. Setiap kromosom terdiri dari ratusan cetak biru berbeda yang berisi instruksi untuk molekul pekerja sel yang sebagian besar adalah protein. Setiap jenis sel di tubuh menggunakan cetak biru yang ada di dalam gen untuk membangun protein, sehingga dapat melakukan tugasnya. DNA menentukan sifat karena mengandung instruksi untuk molekul pekerja (protein) untuk mewujudkan sifat-sifat manusia. Para ilmuwan semakin banyak menemukan tentang DNA; mereka juga mengembangkan alat untuk membaca dan mengubah DNA dalam sel. Para ilmuwan menggunakan teknologi DNA rekombinan untuk mengubah organisme yang digunakan dalam makanan dan obat-obatan. Teknologi ini memungkinkan ilmuwan untuk mengambil gen dari satu organisme dan menempatkannya ke dalam sel organisme lain, mengubah karakteristik organisme penerima. Misalnya, para ilmuwan mengubah sel-sel bakteri dengan gen manusia, mengubahnya menjadi pabrik makhluk hidup yang sangat kecil yang memproduksi protein manusia yang dibutuhkan untuk mengobati penyakit (Kratz and Siegfried, 2010).

1.2.3 Ekosistem dan Evolusi

Keanekaragaman kehidupan yang menakjubkan di bumi membantu memastikan bahwa kehidupan terus berlanjut meski terjadi perubahan lingkungan. Setiap jenis organisme berperan dalam lingkungan, dan masing-masing saling terhubung satu sama

lain. Organisme hijau seperti tumbuhan menggabungkan energi dan materi untuk menghasilkan makanan yang dibutuhkan oleh semua kehidupan, predator memburu mangsa, dan pengurai seperti bakteri dan fungi mendaur ulang benda mati sehingga tersedia kembali untuk makhluk hidup lainnya. Manusia adalah bagian dari alam, dan seperti semua makhluk hidup, manusia memanfaatkan sumber daya alam dan menghasilkan limbah. Namun, manusia tidak biasa dalam kemampuannya menggunakan teknologi untuk memperluas jangkauannya, memanfaatkan sumber daya alam bumi dan perubahan lingkungan untuk memenuhi kebutuhannya. Populasi manusia telah berkembang hingga mencakup sebagian besar bumi, dan jumlahnya terus bertambah. Namun seiring dengan semakin banyaknya manusia yang memanfaatkan sumber daya bumi, justru menekan banyak spesies lain dan mungkin menyebabkan mereka punah. Pelajaran penting dari evolusi biologis adalah populasi tidak hanya berubah seiring berjalannya waktu, namun mereka juga mampu bergerak punah. Tantangan yang dihadapi manusia saat ini adalah menemukan cara untuk memperoleh yang manusia butuhkan namun tetap hidup seimbang dengan berbagai ekosistem bumi (Doerder and Gibson, 2015).

1.2.4 Anatomi dan Fisiologi Hewan

Semua hewan bekerja keras untuk mempertahankan homeostatis, atau keseimbangan internal, seiring perubahan yang terjadi di lingkungan sekitar. Pada hewan multiseluler yang kompleks seperti manusia, seluruh sistem organ harus bekerja sama untuk mempertahankan homeostatis. Berikut ini adalah ikhtisar seluruh sistem organ manusia, termasuk fungsinya dan terdiri dari apa: (1) Sistem kerangka: memberikan dukungan, membantu gerakan, dan membentuk sel darah yang terdiri dari tulang, (2) Sistem otot: memungkinkan pergerakan yang terdiri dari kerangka dan otot polos, (3) Sistem pernapasan: membawa oksigen dan mengeluarkan karbon dioksida yang dibuat paru-paru dan saluran pernapasan, (4) Sistem peredaran darah: mengangkut bahan ke seluruh tubuh. Terdiri jantung, darah, dan pembuluh darah, (5) Sistem pencernaan: mengambil nutrisi dan air serta membuang limbah yang erdiri dari lambung, usus, hati, dan pankreas, (6) Sistem

ekskresi : menjaga keseimbangan air dan elektrolit dalam tubuh dan membuang limbah yang terdiri dari ginjal dan kandung kemih, (7) Sistem integumen: berfungsi sebagai garis pertahanan pertama melawan infeksi yang terdiri dari kulit, (8) Sistem kekebalan: bertahan melawan benda asing yang terdiri dari timus, limpa, dan kelenjar getah bening, (9) Sistem saraf: mengontrol fungsi tubuh melalui sinyal listrik, yang terdiri dari otak, sumsum tulang belakang, dan saraf, (10) Sistem endokrin: menghasilkan hormon yang mengontrol fungsi tubuh yang terdiri dari kelenjar, (11) Sistem reproduksi: bertanggung jawab atas reproduksi seksual yang terdiri atas ovarium, saluran tuba, rahim, leher rahim, vagina, dan vulva jika perempuan, dan testis, skrotum, vas deferens, kelenjar prostat, vesikula seminalis, dan penis jika laki-laki (Kratz and Siegfried, 2010).

1.2.5 Perbandingan Hewan dan Tumbuhan

Sekilas, tumbuhan tampak sangat berbeda dengan manusia, namun sebenarnya manusia dan tumbuhan menempati cabang-cabang terdekat pada pohon kehidupan. Baik manusia maupun tumbuhan melakukan reproduksi seksual, artinya mereka menghasilkan keturunan baru dari peleburan sperma dan sel telur yang mengandung setengah materi genetik induknya. Sama seperti manusia, tumbuhan memiliki sistem untuk memindahkan material ke seluruh tubuhnya, dan mengontrol fungsi tubuh dengan hormon. Tentu saja tumbuhan juga memiliki perbedaan besar dengan manusia. Tumbuhan membuat makanan sendiri dengan menggunakan karbon dioksida, air, dan energi dari Matahari, sedangkan manusia harus memakan organisme lain untuk bertahan hidup. Sebagai produk sampingan dari produksi makanan, tumbuhan mengeluarkan oksigen sebagai limbah. Manusia dengan senang hati menghirup oksigen dan membalasnya dengan menghembuskan karbon dioksida yang dapat digunakan tumbuhan untuk membuat makanan (Doerder and Gibson, 2015).

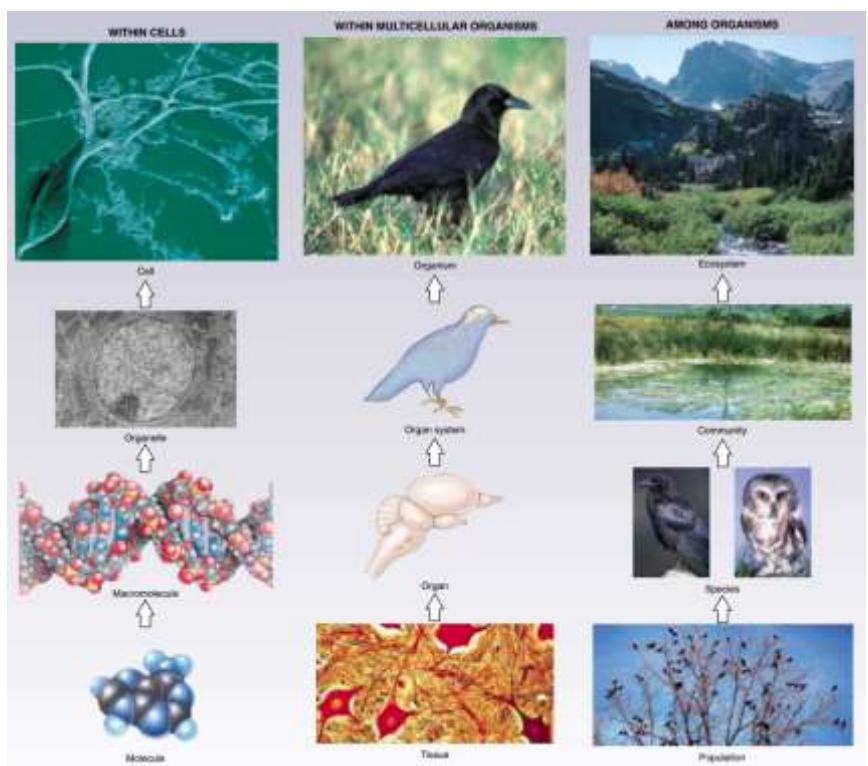
1.3 Sifat-sifat Kehidupan

Dalam arti luas, biologi adalah ilmu yang mempelajari makhluk hidup atau ilmu tentang kehidupan (*study of life*). Makhluk hidup hadir dalam variasi yang menakjubkan baik bentuk maupun rupa. Apa yang membuat sesuatu disebut “hidup”? Siapapun bisa menyimpulkan bahwa kuda yang berlari kencang itu hidup dan mobil yang berlari kencang tidak hidup, tetapi mengapa? Ciri-ciri apa yang menentukan kehidupan? Semua organisme hidup mempunyai lima ciri dasar (Raven *et al.*, 2016):

1. Urutan (*Order*)
Semua organisme terdiri dari satu atau lebih sel dengan struktur yang sangat teratur: atom membentuk molekul, yang membentuk organel seluler di dalam sel. Organisasi hierarkis ini berlanjut pada tingkat yang lebih tinggi pada organisme multiseluler dan antar organisme (Gambar 1.1).
2. Sensitivitas
Semua organisme merespons rangsangan. Tanaman tumbuh menuju sumber cahaya, dan pupil manusia membesar ketika masuk ke ruangan gelap.
3. Pertumbuhan, perkembangan, dan reproduksi
Semua organisme mampu tumbuh dan berkembang biak, dan mereka semua memiliki molekul keturunan yang diturunkan ke keturunannya, dengan menjamin bahwa keturunannya adalah dari spesies yang sama.
4. Regulasi
Semua organisme mempunyai mekanisme pengaturan yang mengkoordinasikan fungsi internal organisme. Fungsi-fungsi ini termasuk memasok sel dengan nutrisi, mengangkut zat ke seluruh organisme, dan lain sebagainya.
5. Homeostatis
Semua organisme bertahan secara relatif kondisi internal yang konstan, berbeda dengan lingkungannya, suatu proses yang disebut homeostatis.

Tidak semua ilmuwan sepakat mengenai definisi apa yang membentuk kehidupan. Berbagai karakteristik menggambarkan sebagian besar makhluk hidup. Oleh karena itu, penentuan tersebut

sebaiknya dilakukan dengan hati-hati dan tidak terlalu dogmatis dalam usaha menjelaskan benda hidup atau benda tak hidup. Makhluk hidup terdiri dari materi yang terstruktur secara teratur dan sederhana molekul disusun bersama menjadi makromolekul yang jauh lebih besar (Doerder and Gibson, 2015).



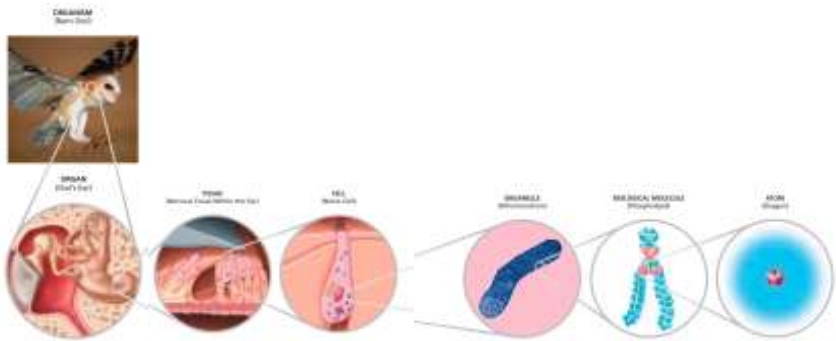
Gambar 1.1. Organisasi Hierarkis Makhluk Hidup
(Sumber : Raven *et al.*, 2016)

Biologi atau ilmu tentang kehidupan menawarkan kerangka ilmiah yang terstruktur untuk mengemukakan dan menjawab segala sesuatu tentang dunia alami. Ahli biologi mempelajari pertanyaan tentang cara kerja makhluk hidup, interaksi antara makhluk hidup dengan lingkungan dan bagaimana makhluk hidup berubah seiring dengan berjalannya waktu. Ahli biologi mempelajari berbagai macam jenis makhluk hidup dari yang berukuran kecil seperti bakteri hingga yang berukuran besar seperti gajah. Setiap

hari, ahli biologi melakukan pemeriksaan segala hal yang berkaitan dengan makhluk hidup serta cara hidup makhluk hidup tersebut. Ahli biologi telah menentukan bahwa makhluk hidup memiliki tujuh karakteristik, yaitu: (1) Susunan serta kehadiran lebih dari satu sel, (2) respons terhadap rangsangan, (3) homeostasis, (4) metabolisme, (5) pertumbuhan dan perkembangan, (6) reproduksi serta (7) perubahan dari waktu ke waktu (Postlethwait and Hopson, 2006).

1.3.1 Susunan dan Sel

Susunan adalah urutan derajat pada bagian internal dan eksternal organisme dan interaksi antara organisme dengan dunia kehidupan. Sebagai contoh, batu memiliki bentuk yang spesifik tetapi biasanya tidak teratur. Batu berbeda, meskipun dari jenis yang sama dapat memiliki perbedaan bentuk dan ukuran. Sebaliknya, organisme dari spesies yang sama akan memiliki bagian-bagian tubuh yang sama dan tersusun dengan cara yang sama serta berinteraksi dengan lingkungan juga dengan cara yang sama. Sel merupakan unit terkecil dari makhluk hidup. Beberapa organisme seperti bakteri termasuk ke dalam organisme uniseluler, sedangkan hewan dan tumbuhan termasuk ke dalam organisme multiseluler. Kumpulan sel akan membentuk jaringan. Jaringan dengan kemampuan yang sama dan memungkinkan fungsi organ akan membentuk organ. Organ tersusun atas jaringan. Organ adalah struktur yang memiliki fungsi khusus dalam sistem organ. Sistem organ adalah kumpulan dari organ yang nanti akan membentuk organisme. Sel tersusun atas organel, yaitu struktur kecil yang membawa fungsi penting hingga sel tersebut dapat bertahan hidup. Organel mengandung molekul-molekul biologi yang merupakan senyawa kimia yang menyediakan struktur fisik untuk pergerakan, penggunaan energi serta fungsi seluler lain. Semua molekul biologi mengandung atom, yaitu partikel paling sederhana dari suatu elemen tertentu (Gambar 1.2).



Gambar 1.2. Tingkatan Susunan Makhluk Hidup
(Sumber : Postlethwait and Hopson, 2006)

1.3.2 Respons Terhadap Rangsangan

Karakteristik lain dari kehidupan adalah organisme mampu merespons rangsangan. Rangsangan tersebut dapat berupa perubahan fisika maupun kimia pada lingkungan eksternal maupun internal. Organisme harus dapat merespons dan bereaksi terhadap perubahan yang terjadi di lingkungan untuk tetap bertahan hidup.

1.3.3 Homeostasis

Semua makhluk hidup, dari sel tunggal sampai keseluruhan organisme memiliki mekanisme yang memungkinkan untuk menjaga kestabilan kondisi internal. Tanpa mekanisme ini, organisme tersebut dapat mati. Homeostasis adalah kemampuan menjaga tingkat kestabilan kondisi internal suatu organisme walaupun terjadi perubahan-perubahan pada lingkungan. Suatu organisme memiliki sistem pengaturan yang dapat menjaga kondisi internal seperti suhu, kandungan air, dan proses pengambilan nutrisi oleh sel. Organisme multiseluler memiliki lebih dari satu cara untuk menjaga aspek-aspek penting pada lingkungan internal.

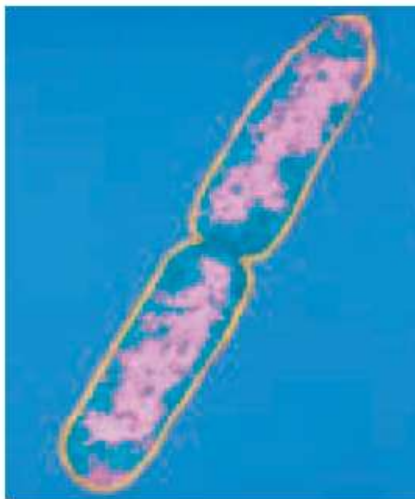
1.3.4 Metabolisme

Makhluk hidup menggunakan energi sebagai sumber kekuatan semua proses kehidupan, seperti perbaikan sel, pergerakan dan pertumbuhan. Penggunaan energi tersebut tergantung dari metabolisme yang terjadi. Metabolisme adalah jumlah dari semua reaksi kimia yang terjadi untuk mengubah energi

dan bahan dari lingkungan. Beberapa makhluk hidup bergantung pada organisme lain sebagai sumber energi untuk aktivitas dan pertumbuhan (heterotrof). Tumbuhan, alga dan beberapa bakteri menggunakan energi matahari untuk menghasilkan molekul gula selama fotosintesis (autotrof).

1.3.5 Pertumbuhan dan Perkembangan

Semua makhluk hidup mengalami pertumbuhan dan peningkatan ukuran melalui pembelahan dan perluasan sel. Pembelahan sel adalah pembentukan dua sel baru dari sel sebelumnya. Pada organisme uniseluler, perubahan utama saat pembelahan sel adalah perluasan sel (Gambar 1.3). Pada organisme multiseluler, organisme menjadi dewasa melalui pembelahan sel, perluasan sel dan perkembangan sel. Perkembangan adalah proses yang terjadi pada organisme hingga menjadi dewasa. Perkembangan berlangsung melalui pembelahan dan diferensiasi sel atau spesialisasi. Sebagai hasil dari perkembangan, seorang dewasa tersusun dari berbagai macam sel yang terspesialisasi dengan fungsi yang berbeda-beda.



Gambar 1.3. Pembelahan Sel Organisme Uniseluler *Escherichia coli*
(Sumber : Postlethwait and Hopson, 2006)

1.3.6 Reproduksi

Semua organisme menghasilkan organisme baru serupa dengan dirinya disebut dengan reproduksi. Reproduksi tidak seperti karakteristik lain, tidak berperan dalam pertahanan hidup suatu organisme. Reproduksi berperan dalam keberlangsungan hidup suatu spesies. Gambar 1.4 menunjukkan katak yang bertelur dengan jumlah yang banyak, namun persentase telur tersebut mencapai masa dewasa lebih sedikit. Selama reproduksi, organisme mentransmisikan informasi genetik ke keturunannya. Informasi genetik dikodekan pada molekul besar yaitu asam deoksiribonukleat/*deoxyribonucleic acid* (DNA). Potongan kecil dari DNA yang mengandung instruksi sifat tunggal organisme disebut gen. Informasi genetik yang diturunkan berlangsung melalui reproduksi seksual dan aseksual. Reproduksi seksual terjadi saat rekombinasi dua organisme dari spesies yang sama menghasilkan keturunan yang serupa namun tidak identik. Reproduksi aseksual terjadi saat informasi genetik dari organisme berbeda tidak digabungkan, tetapi organisme terdahulu dan organisme baru secara genetik sama.



Gambar 1.4. Katak *Centrolenella* sp. Menghasilkan Banyak Telur
(Sumber : Postlethwait and Hopson, 2006)

1.3.7 Perubahan dari Waktu ke Waktu

Organisme mengalami perubahan dari waktu ke waktu, meskipun demikian karakteristik genetik dasar organisme tersebut tidak berubah. Populasi dari organisme hidup mengalami evolusi

atau perubahan seiring dengan berjalannya waktu. Kemampuan populasi organisme berubah dari waktu ke waktu sangat penting dalam menentukan kemampuan bertahan hidup di dunia yang selalu berubah. Hal ini juga penting dalam menjelaskan keanekaragaman bentuk yang terjadi di bumi.

1.4 Prinsip-prinsip Biologi

Dari pengamatan dan penyelidikan biologis selama berabad-abad, satu prinsip pengorganisasian telah muncul: keanekaragaman hayati mencerminkan sejarah, catatan keberhasilan, kegagalan, dan perubahan yang dimulai pada periode setelah terbentuknya ekosistem bumi. Penjelasan atas keberagaman ini, yaitu teori evolusi melalui seleksi alam, akan menjadi dasar pemikiran tentang kajian ilmu biologi, sama seperti teori ikatan kovalen sebagai dasar ilmu kimia, atau teori mekanika kuantum sebagai dasar ilmu fisika (Raven *et al.*, 2016).

Sains adalah metodologi untuk mempelajari dunia. Sains melibatkan aplikasi pengetahuan berupa metode ilmiah berkaitan dengan penyelidikan sistematis, hasil yang dapat direproduksi, dan pembentukan dan pengujian hipotesis, dan penalaran. Penalaran dapat dipecah menjadi dua kategori, induksi (data spesifik digunakan untuk mengembangkan pengamatan atau kesimpulan yang digeneralisasi) dan deduksi (informasi umum mengarah ke kesimpulan tertentu). Kebanyakan penalaran dalam sains dilakukan melalui induksi. Sains seperti yang kita kenal sekarang muncul sebagai suatu disiplin ilmu pada abad ke-17 (Doerder and Gibson, 2015).

Biologi tidak akan menjadi ilmu pengetahuan jika para ahli biologi tidak melakukannya menggunakan proses terstruktur untuk melakukan penelitian mereka dan tidak mengkomunikasikan hasil penelitian tersebut kepada orang lain. Intisari ilmu pengetahuan bukanlah sekumpulan fakta, melainkan metode yang digunakan para ilmuwan untuk mengumpulkan fakta-fakta tersebut. Sains adalah tentang menjelajahi alam, melakukan pengamatan dengan menggunakan panca indera, dan berusaha memahami pengamatan tersebut. Para ilmuwan, termasuk ahli biologi, menggunakan dua pendekatan utama ketika mencoba memahami alam: (1) Ilmu

penemuan (*discovery science*): Saat ilmuwan mencari dan mengamati makhluk hidup, mereka terlibat dalam ilmu penemuan, mempelajari alam dan mencari pola yang mengarah pada penjelasan baru dan tentatif tentang cara kerja hal tersebut. Jika seorang ahli biologi tidak ingin mengganggu habitat suatu organisme, ia dapat menggunakan observasi untuk mengetahui cara hewan tertentu hidup di lingkungan alaminya. Membuat observasi ilmiah yang berguna melibatkan penulisan catatan rinci tentang rutinitas hewan dalam jangka waktu yang lama (biasanya bertahun-tahun) untuk memastikan bahwa pengamatannya akurat. Banyak hewan dan tumbuhan pertama kali diidentifikasi selama gelombang besar penemuan ilmu pengetahuan yang terjadi pada tahun 1800-an. Ilmuwan yang disebut naturalis berkeliling dunia menggambar dan mendeskripsikan setiap makhluk hidup baru yang dapat mereka temukan. Penemuan ilmu pengetahuan terus berlanjut saat ini ketika para ahli biologi berupaya mengidentifikasi semua penghuni terkecil di planet ini bumi (bakteri dan virus) dan jelajahi lautan untuk melihat hal-hal aneh dan makhluk luar biasa yang mengintai di kedalamannya, (2) Sains berbasis hipotesis: saat para ilmuwan menguji pemahaman mereka tentang dunia melalui eksperimen, mereka terlibat dalam hipotesis sains, yang biasanya memerlukan mengikuti beberapa variasi proses yang disebut metode ilmiah. Ahli biologi modern menggunakan sains berbasis hipotesis untuk mencoba dan memahami banyak hal, termasuk potensi penyebab dan penyembuhan pada penyakit manusia serta mekanisme DNA mengontrol struktur dan fungsi makhluk hidup (Kratz and Siegfried, 2010).

DAFTAR PUSTAKA

- Doerder, P. and Gibson, R. 2015. *General Biology*. Cleveland: WikiBooks.
- Kratz, R.F. and Siegfried, D.R. 2010. *Biology For Dummies, 2nd Edition*. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc.
- Postlethwait, J.H. and Hopson, J.L. 2006. *Modern Biology, The global ramifications of the French Revolution*. Austin: Holt, Rinehart and Winston. Available at: <https://doi.org/10.1017/cbo9780511572883.013>.
- Raven, P. *et al.* 2016. *Biology, Science*. New York: McGraw Hill. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.251.4994.606-a>.

BAB 2

SEJARAH DAN PERKEMBANGAN BIOLOGI

Oleh Suharno Zen

2.1 Pengertian Biologi

Menurut etimologi, biologi berasal dari kata Yunani, yaitu *bios* yang berarti kehidupan dan *logos* yang berarti ilmu. Oleh karena itu, biologi diartikan sebagai ilmu yang mempelajari makhluk hidup dan hubungan antara makhluk hidup dengan lingkungannya. Biologi juga mempelajari organisme hidup lain di bumi ini, termasuk evolusi, struktur, distribusi, pertumbuhan, dan klasifikasinya.

2.2 Sejarah biologi

Biologi telah memiliki sejarah yang panjang sebelum dijadikan salah satu cabang ilmu pengetahuan seperti sekarang ini. Kita tahu bahwa istilah biologi pertama kali digunakan oleh Linnaeus pada tahun 1736 dengan karyanya yang berjudul *Bibliotheca Botanica*. Meski begitu, ilmu yang mempelajari alam dan segala sesuatu yang berhubungan dengannya sudah ada jauh sebelum tahun tersebut.

Sejarah biologi mengikuti studi tentang dunia kehidupan dari zaman kuno hingga saat ini. Meskipun konsep biologi sebagai bidang terpadu muncul pada abad ke-19, ilmu biologi muncul dari tradisi medis dan sejarah alam sejak Ayurveda, pengobatan Mesir kuno, serta karya Aristoteles dan Galen di dunia Yunani-Romawi kuno. Karya kuno ini dikembangkan pada Abad Pertengahan oleh dokter dan cendekiawan Muslim seperti Avicenna. Pada awal periode modern, pemikiran biologi mengalami revolusi di Eropa dengan minat baru terhadap empirisme dan penemuan banyak organisme baru. Peserta utama dalam gerakan ini adalah Vesalius dan Harvey, yang menggunakan eksperimen dan pengamatan yang

cermat dalam bidang fisiologi, dan naturalis seperti Linnaeus dan Buffon, yang mulai mengklasifikasikan keanekaragaman kehidupan dan catatan fosil, serta perkembangan dan perilaku organisme.

Pada abad ke-18 dan ke-19, ilmu biologi seperti botani dan zoologi semakin menjadi disiplin ilmu profesional. Lavoisier dan fisikawan mulai menghubungkan dunia hidup dan mati melalui fisika dan kimia. Penjelajah naturalis seperti Alexander von Humboldt mempelajari interaksi antara organisme dan lingkungannya dan bagaimana hubungan ini bergantung pada geografi, meletakkan dasar bagi biogeografi, ekologi, dan etologi. Para naturalis mulai menolak esensialisme dan mempertimbangkan pentingnya kepunahan dan perubahan spesies. Teori sel menawarkan perspektif baru tentang kehidupan. Perkembangan ini, bersama dengan hasil embriologi dan paleontologi, disintesis dalam teori evolusi Charles Darwin melalui seleksi alam. Pada akhir abad ke-19 terjadi penurunan generasi spontan dan munculnya teori kuman penyakit, meskipun mekanisme penularannya masih menjadi misteri.

Pada awal abad ke-20, penemuan kembali karya Mendel menyebabkan perkembangan pesat dalam bidang genetika oleh Thomas Hunt Morgan dan murid-muridnya, dan pada tahun 1930-an terjadi kombinasi genetika populasi dan seleksi alam dalam "Darwinisme sintetik baru". Suatu ilmu pengetahuan yang berkembang pesat terutama setelah Watson dan Crick mengajukan struktur DNA. Setelah penetapan dogma sentral dan runtuhnya kode genetik, biologi sebagian besar dibagi menjadi biologi organisme - bidang yang mempelajari seluruh organisme beserta kelompok organisme - dan bidang yang berkaitan dengan biologi seluler dan molekuler. Pada akhir abad ke-20, bidang-bidang baru seperti genomik dan proteomik dengan cemerlang membalikkan tren ini.

Biologi organisme menggunakan teknik molekuler, sedangkan biologi molekuler dan seluler mempelajari interaksi antara gen dan lingkungan, serta genetika populasi alami suatu organisme.

2.3 Karakteristik Makhluk Hidup

Makhluk hidup tentunya memiliki karakteristik yang berbeda apabila dibandingkan dengan benda tak hidup yang ada di alam semesta. Berikut merupakan karakteristik dari makhluk hidup:

1. Order (saling menyusun, keteraturan) Makhluk hidup tersusun atas molekul → sel → jaringan → organ → sistem organ → individu. Seluruh komponen tersebut membentuk sebuah keteraturan dalam tubuh.
2. Reproduksi. Reproduksi atau berkembang biak adalah proses biologis individu untuk menghasilkan individu baru. Reproduksi bertujuan untuk mempertahankan jenis/keturunan agar tidak punah.
3. Tumbuh dan Berkembang Tumbuh atau pertumbuhan merupakan perubahan biologis secara *irreversible* yang ditandai dengan bertambahnya ukuran tubuh makhluk hidup seperti penambahan tinggi serta berat badan. Pertumbuhan dapat diukur secara kuantitatif. Berkembang atau perkembangan adalah kondisi menuju tercapainya kedewasaan yang terjadi secara *reversible*. Berbeda dengan pertumbuhan, perkembangan termasuk kondisi yang tidak dapat diukur secara kuantitatif namun dapat diukur secara kualitatif.
3. Memproses Energi. Energi didapatkan dari proses metabolisme yang dilakukan secara enzimatik di dalam sel baik secara aerob maupun anaerob. Metabolisme sendiri dibagi menjadi duayaitu katabolisme dan anabolisme. Katabolisme adalah proses merombak senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, sedangkan anabolisme adalah proses menyusun senyawa sederhana menjadi senyawa kompleks.
4. Peka terhadap rangsang adalah ciri makhluk hidup berupa kemampuan untuk bereaksi terhadap perubahan yang terjadi disekitarnya berupa stimulus baik yang berasal dari cahaya, suhu, aroma, dll. Regulasi Mekanisme regulasi dilakukan untuk mengatur kondisi tubuh agar dalam keadaan seimbang. Contohnya adalah lemur yang memiliki kebiasaan untuk berjemur untuk meningkatkan suhu tubuhnya saat pagi hari.

5. Evolusi dan adaptasi. Proses evolusi dan adaptasi merupakan upaya organisme untuk beradaptasi terhadap segala perubahan lingkungan agar dapat bertahan hidup.

Jadi ada ciri-ciri tertentu yang membentuk apa yang kita sebut sebagai organisme hidup. Ciri-ciri tersebut antara lain keteraturan, reproduksi, pertumbuhan dan perkembangan, pemrosesan energi, kepekaan terhadap rangsangan, regulasi, evolusi, dan adaptasi (Ira et al., 2021).

2.4 Ruang lingkup biologi

Biologi merupakan salah satu bagian ilmu pengetahuan yang mempunyai ciri-ciri yang sama dengan ilmu pengetahuan. Bidang kajian biologi mencakup seluruh kehidupan di alam semesta, mulai dari organisme hidup yang paling sederhana (sangat kecil) hingga tingkat organisasi yang paling kompleks (terbesar). Sebagai ilmu yang memiliki ciri khas tersendiri, maka untuk memudahkan penelitiannya maka biologi harus memperhatikan seluruh aspeknya secara menyeluruh, baik dari segi mata pelajaran, permasalahan maupun tingkatan organisasi kehidupan. Struktur keilmuan biologi didasarkan pada hasil yang dikembangkan oleh kelompok BSCS (*Biological Science Curriculum Study*) (Mayer, 1978), sebagaimana dapat digambarkan pada diagram di bawah ini. Berdasarkan struktur keilmuan menurut BSCS, biologi mempunyai objek berupa gender:

1. Plantae (tumbuhan),
2. Animalium (hewan),
3. Protista. Ketiga mata pelajaran ini dipelajari pada tingkat molekuler, seluler, jaringan, organik, individu, populasi, ekosistem, dan komunitas.

Permasalahan yang diteliti mencakup 9 topik dasar, yaitu:

- a) Biologi (sains) sebagai proses penyelidikan/penemuan,
- b) Sejarah konsep biologi,
- c) Evolusi,
- d) Keanekaragaman dan identitas,
- e) Hereditas dan kelangsungan hidup,

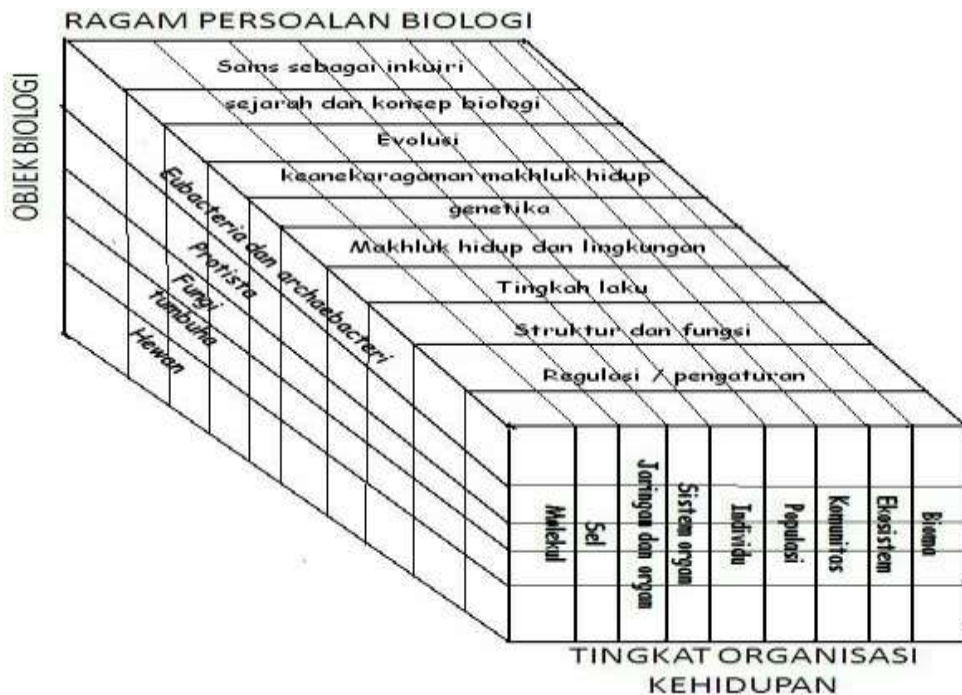
- f) Organisme dan lingkungan,
- g) Perilaku,
- h) Struktur dan fungsi, dan
- i) Regulasi. Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan, benda-benda biologi juga terus mengalami perkembangan.

Klasifikasi organisme pada mulanya terbagi menjadi tiga kingdom, yang menurut Robert H. Whittaker 1969 berkembang menjadi lima kingdom, antara lain kingdom/regnum:

1. Plantae,
2. Animalia,
3. Protista,
4. Monera dan
5. Jamur/Jamur.

Memang menurut perkembangan terkini Carl Woese (1987), makhluk hidup digolongkan menjadi enam kingdom/zona, yaitu:

1. Tumbuhan,
2. Animalia,
3. Protista,
4. Jamur,
5. Archaeobacteria
6. Eubacteria. (Syofyan, H., 2018).



Gambar 2.1. Struktur Biologi
(Sumber : <https://brainly.co.id/tugas/18165257>)

2.5 Manfaat biologi

Seiring berjalannya waktu, perkembangan ilmu biologi terus berkembang dan semakin banyak mengungkap tentang kehidupan di bumi, semakin banyak teknologi yang digunakan untuk mengeksplorasi misteri makhluk hidup, memberikan tingkat genetik pada organisme, menjadi semakin umum. . dan membuat lebih banyak kemajuan.

Ilmu-ilmu biologi mengalami perkembangan yang sangat pesat, ditandai dengan munculnya banyak cabang-cabang ilmu biologi yang baru. Jika perkembangan hayati ini dimanfaatkan dengan benar dan untuk kesejahteraan manusia maka akan membawa manfaat yang besar. Berikut beberapa manfaat mengembangkan ilmu biologi.

1. Bidang pertanian
Banyak ilmu genetika tingkat tinggi yang ditemukan dan memberikan solusi dalam budidaya tanaman, sehingga banyak alternatif untuk memperoleh bahan pangan pokok untuk memenuhi kebutuhan manusia.
2. Bidang kesehatan
Dapat memahami berbagai jenis struktur tubuh manusia, anatomi, kondisi tubuh yang tidak normal, mengetahui berbagai jenis vaksin dan masih banyak lagi yang lainnya.
3. Bidang nutrisi
Dapat menemukan makanan yang tepat untuk penderita diabetes, dengan ukuran yang pas dan pola makan yang ketat dan sehat.
4. Bidang kuliner
Bahan protein nabati dan hewani dapat digunakan sebagai bahan masakan dan bumbu penyedap rasa.
5. Bidang Farmasi
Berbagai tanaman obat berbahan dasar alam telah banyak ditemukan, manfaatnya sangat besar.
6. Bidang medis
Dengan biologi, kita dapat mempelajari cara transplantasi organ, transplantasi anak in vitro, mengobati kanker, dan banyak lagi.
7. Bidang farmasi
Penemuan obat yang sebenarnya dibutuhkan manusia membantu lebih memahami reaksi manusia terhadap bahan kimia dalam obat dan dapat membuka jalan bagi produksi senyawa antibiotik dan insulin.
8. Bidang Industri peternakan
Ada banyak sekali jenis variasi unggul peternakan, persilangan, inseminasi buatan hewan, dan lain-lain di dunia. Setelah sedikit membahas tentang pengertian biologi dan cabang keilmuannya, ternyata biologi juga banyak digunakan pada manusia. kehidupan.
9. Bidang industri

Pemanfaatan biologi pada sektor industri selanjutnya tidak berbeda dengan pemanfaatannya pada sektor pertanian. Dahulu

masyarakat cenderung langsung mengonsumsi produk alami. Namun ketika kita mulai memanfaatkan ilmu biologi, kita bisa memperoleh hasil alam yang dapat menciptakan nilai tambah. Misalnya saja di bidang mikrobiologi dipelajari berbagai jenis bakteri dan sifat-sifatnya. Pengetahuan tersebut telah menciptakan perkembangan dunia industri pangan dan farmasi yang benar-benar bermanfaat bagi kesehatan makhluk hidup di muka bumi ini. Salah satunya adalah bakteri *Lactobacillus* yang kemudian dikembangkan dalam industri makanan sebagai bahan pembuatan yogurt.

2.6 Biologi perkembangan

Saat ini ilmu biologi telah mencapai perkembangan yang luar biasa seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, karena telah memperoleh pengetahuan tentang hakikat kehidupan sampai pada tingkat molekuler. Sesuai dengan situasi sosial, biologi berperan penting dalam menyelesaikan berbagai permasalahan sosial melalui serangkaian penelitian yang telah dilakukan, termasuk mengidentifikasi jenis virus HIV, virus SARS atau virus SARS, avian influenza, dan dalam kondisi pandemi seperti saat ini. , peran biologi molekuler sangat penting dalam mendeteksi virus Covid-19 yang menyebabkan banyak kematian dan menimbulkan kekhawatiran masyarakat. Para ahli biologi telah mengetahui komposisi DNA dan RNA virus COVID-19 menggunakan alat PCR (*Polymerase Chain Reaction*) dan berhasil mengidentifikasi virus tersebut. Setelah identifikasi berhasil, para ahli kemudian melakukan serangkaian penelitian untuk mencoba menemukan vaksin untuk mengobati COVID-19. Tes PCR ini lebih akurat dalam mendeteksi virus dibandingkan tes diagnostik cepat (Handayani dkk, 2020).

Perkembangan biologi lainnya dalam bidang biologi sel dan molekuler adalah terapi gen. Terapi gen adalah teknik terapi yang digunakan untuk memperbaiki gen yang bermutasi (abnormal/cacat) yang menyebabkan penyakit. Awalnya, terapi gen diciptakan untuk mengobati penyakit genetik (keturunan) yang disebabkan oleh mutasi gen, seperti *cystic fibrosis*. Penggunaan terapi gen pada penyakit ini melibatkan penyisipan gen normal

tertentu ke dalam sel yang mengandung gen yang bermutasi. Terapi gen kemudian dikembangkan untuk mengobati penyakit yang disebabkan oleh mutasi pada banyak gen, seperti kanker. Selain memasukkan gen normal ke dalam sel mutan, mekanisme terapi gen lain yang dapat digunakan antara lain melakukan rekombinasi homolog untuk menghilangkan gen abnormal dari gen normal, mencegah ekspresi gen abnormal melalui teknik pembungkaman gen, dan mutasi balik selektif untuk menghilangkan gen abnormal. Gen dapat berfungsi normal kembali. (Hasan, F., 2016).

2.7 Metode ilmiah dalam biologi

Ilmuwan dapat menemukan teori atau hukum ilmiah melalui ketekunan, ketekunan, dan pantang menyerah. Kesuksesan tidak hanya ditentukan oleh kecerdasan saja namun juga harus ditunjang dengan kerja keras dan ketekunan untuk mencapai kesuksesan. Para ilmuwan ini bekerja secara sistematis, tekun, cermat dan disiplin. Metode yang digunakan oleh para ilmuwan / ahli biologi untuk memecahkan suatu permasalahan merupakan langkah-langkah yang konsisten dengan metode ilmiah. Langkah-langkah ilmiah meliputi:

Merumuskan masalah, menyusun kerangka berpikir/landasan teori, membentuk hipotesis, menguji hipotesis dan menarik kesimpulan (Syofyan, H., 2018). Langkah-langkah metode ilmiah yang digunakan para ilmuwan agar berhasil menemukan pengetahuan adalah:

1. Merumuskan masalah

Pembentukan masalah diawali dari ketertarikan masyarakat terhadap hal-hal tertentu yang menarik dan menjadi perhatiannya. Perumusan masalah merupakan suatu langkah dalam menemukan masalah yang ingin dipecahkan, sehingga menjadi jelas batas-batas masalah, letaknya, dan alternatif pemecahannya.

2. Kerangka berpikir.

Untuk menyusun kerangka berpikir, harus bersedia mempelajari laporan penelitian orang lain, membaca bahan referensi, mengamati lingkungan secara langsung atau hasil wawancara dengan ahli. Kerangka berpikir ini merupakan

alasan yang menjelaskan hubungan antara berbagai unsur dan objek serta jawaban terhadap suatu permasalahan. Kerangka refleksi disusun dengan baik berdasarkan hasil yang telah terbukti.

3. Hipotesis

Hipotesis berfungsi sebagai jawaban sementara terhadap permasalahan yang muncul berdasarkan temuan kerangka.

4. Pengujian hipotesis

Pengujian hipotesis dilakukan dengan cara eksperimen/eksperimen. Data yang diperoleh saat melakukan percobaan kemudian dianalisis untuk menunjukkan apakah terdapat fakta yang mendukung hipotesis. e) Menarik kesimpulan Menarik kesimpulan adalah evaluasi terhadap suatu hipotesis yang telah dibangun, apakah hipotesis itu diterima atau ditolak. Urutan metode ilmiah pada Tabel 1.1 di bawah ini:

Tabel 2.1. Urutan metode ilmiah

No.	Tahapan	Penerapan
1.	Rumusan masalah	Apakah konsentrasi warna kuning telur itik dipengaruhi oleh jenis makanannya?
2.	Kerangka berfikir	Dari berbagai informasi yang diperoleh dan dikembangkan secara logis, analitis dan sintesis, sangat masuk akal bahwa warna kuning telur itik ditentukan oleh jenis makanannya.
3.	Rumusan hipotesis	Warna kuning telur itik dipengaruhi oleh jenis makanannya.
4.	Pengujian hipotesis	Melakukan percobaan dengan memberi makanan pellet untuk itik sebagai kontrol dan memberi makan selain pellet (jagung, padi) untuk itik yang lainnya. Setelah semua itik bertelur dan telur dipecah warna kuning telurnya ternyata berbeda konsentrasinya.
5.	Kesimpulan	Konsentrasi warna kuning telur itik dipengaruhi oleh jenis makanannya.

2.8 Biologi sebagai ilmu spiritual

Spiritualitas ilmiah adalah materi ilmiah (biologis) yang dapat mengembangkan keterampilan spiritual. Misalnya: Seiring kita belajar lebih banyak tentang sistem pencernaan tubuh, kita juga belajar banyak tentang bagaimana proses pencernaan makanan menghasilkan nutrisi yang siap digunakan untuk energi. Sebuah proses alami yang sangat hati-hati dan tentunya terukur. Mengetahui proses normal tersebut, hendaknya selalu berhati-hati untuk tidak mengonsumsi makanan yang berpotensi membahayakan tubuh, seperti yang diajarkan agama. Jika ada makanan yang tidak cocok untuk tubuh, otomatis mekanisme normal tubuh akan terganggu. Misalnya ketika seseorang mengonsumsi minuman beralkohol atau obat-obatan terlarang (dilarang agama). Sel-sel tubuh yang keracunan alkohol akan mengganggu proses metabolisme, sehingga fungsi hati akan terganggu karena hati harus bekerja keras untuk menetralkan racun alkohol. Zat adiktif mempunyai pengaruh yang sangat kuat terhadap sistem saraf sehingga menimbulkan efek adiktif akibat perubahan potensial membran sel saraf terganggu oleh senyawa adiktif. Dengan mempelajari biologi dan memahami hal di atas maka kita akan meningkatkan kemampuan spiritual (mensyukuri) atas karunia Sang Pencipta, antara lain merawat tubuh dengan baik (Amin, 2016).

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, I.F. 2014. Belajar Biologi Menyenangkan dengan Science Spirituality. Makalah dalam Lomba Inovasi Pembelajaran Biologi. FKIP UMM.
- Fuady, Hasan. 2016. Modul Mata Pelajaran Biologi Kesehatan . SMK. Pusat Pengembangan Dan Pemberdayaan Pendidik Dan Tenaga Kependidikan (PPPPTK) Bisnis Dan Pariwisata Direktorat Jenderal Guru Dan Tenaga Kependidikan Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan. Jakarta.
- Handayani, Maharani, R.D, Ulliniam, Charliany Hetharia, Buala Junaedi Sianturi, Muh. Sri Yusal, Eko Sutrisno, Rini Purbowati, Visi Tinta Manik, Pelita Octorina, Hasria Alang, dan Eka Apriyanti. 2020. Biologi Umum. Penerbit Widina Bhakti Persada Bandung. ISBN: 978-623-6608-66-1
- Harlinda, Syofyan. 2018. Modul 1 Biologi Sebagai Ilmu & Ruang Lingkupnya. Universitas Esa Unggul.
- Ira Nurmawati, S., Rosita Fitrah Dewi, Sulis Anjarwati., Dian Aswita, Eufrasia Jeramat, Hastuti, Erfitra Rezqi Prasmala, Rina Priastini Susilowati, Suharno Zen, dan Eti Sumiati. 2021. Teori Dan Aplikasi Biologi Umum. Penerbit: Yayasan Penerbit Muhammad Zaini. ISBN: 978-623-97420-9-6.

BAB 3

CABANG-CABANG BIOLOGI

Oleh Ashari Bagus Setiawan

3.1 Pendahuluan

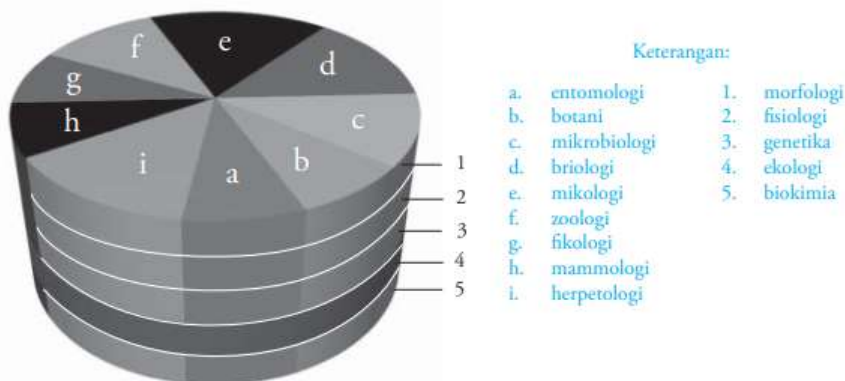
Biologi merupakan suatu cabang ilmu yang merupakan bagian dari ilmu pengetahuan alam; mempelajari tentang materi dan energi yang berhubungan dengan makhluk hidup beserta proses kehidupannya. Sejak hidup, manusia memperoleh pengetahuan melalui pengalaman sendiri atau orang lain, prasangka, mitos, intuisi, bahkan *trial and error* (Palennari dkk., 2016). Pengetahuan yang diperoleh ini merupakan pengetahuan non alamiah karena tidak didasari dengan empat prinsip ilmiah meliputi: objektif, sistematis, metodik, serta universal. Empat prinsip ini tercantum dalam metode ilmiah.

Biologi telah diterapkan mulai pada peradaban Assyiria dan Babilonia dalam mempelajari anatomi untuk pengobatan, aktifitas bercocok tanam, serta reproduksi tanaman. Tidak hanya disitu saja, bangsa Tiongkok, India, dan Mesir juga mulai mengenal ilmu biologi sejak 2800-2000 SM untuk berbagai keperluan seperti pengobatan, bercocok tanam, hingga cara mengawetkan mayat (Wardhani, 2021). Biologi yang mulai disadari merupakan suatu cabang ilmu mulai dikenal oleh bangsa Yunani. Mereka percaya bahwa hukum alam yang mengatur segala jenis kehidupan dapat dipelajari oleh manusia karena adanya kemampuan dalam mengamati dan mengambil keputusan. Beberapa ilmuwan Yunani kuno seperti Thales, Anaximander, Hippocrates, Aristoteles, dan Theoprastus memberikan sumbangsih pengetahuan di bidang Biologi. Di wilayah Arab, tokoh seperti Al Jahiz dan Ibnu Sina juga memberikan kontribusi besar dalam Biologi karena tulisan pengetahuannya tentang binatang serta ilmu kedokteran, obat, dan pengobatan. Hal ini kemudian dilanjutkan oleh beberapa tokoh bangsa lain seperti Leonardo da Vinci, Otto Brunfels, Leonhard Fuchs, Pierre Belon, dan sebagainya (Amin, 2016).

Penemuan mikroskop pada abad ke-17 oleh Antonie van Leeuwenhoek membuka cakrawala baru dalam bidang Biologi, sehingga mendorong beberapa pakar lain dalam mempelajari ilmu ini. Tonggak perkembangan ilmu ini mulai terlihat ketika para ilmuwan memiliki rasa keingintahuan yang tinggi terhadap mikroorganisme sehingga muncul beragam teori asal-usul makhluk hidup, pengelompokan makhluk hidup, ultrastruktur DNA sebagai materi genetik yang diwariskan oleh tetua, hingga perkembangan teknologi DNA rekombinan dengan ditunjang beberapa metode seperti *Polymerase Chain Reaction* (PCR), sekuensing, maupun RT-PCR (Amin, 2016). Sejarah ini menggambarkan bahwa perjalanan dari kemajuan ilmu ini ditopang oleh pengetahuan. Semua ilmuwan yang berkontribusi di dalamnya berdasarkan pada pengamatan suatu objek yang melahirkan cabang-cabang ilmu biologi. Dalam bab ini akan dibahas mengenai berbagai cabang dalam ilmu biologi disertai dengan sejarah perkembangan dan kemutakhiran dalam memecahkan kasus yang terjadi di dalamnya.

3.2 Cabang-cabang Biologi

Sebagai ilmu, Biologi memiliki ruang lingkup yang sangat luas karena menyangkut segala permasalahan makhluk hidup dan kehidupannya sehingga diperlukan kajian khusus untuk memperdalam berbagai objek dan permasalahan tersebut. Untuk menyederhanakan hal tersebut, biologi dibedakan menjadi beberapa kajian yaitu tingkat molekul, sel, organisme, dan populasi. Pembagian biologi ke dalam berbagai cabang dapat digambarkan sebagai keratan-keratan kue lapis (Gambar 3.1). keratan vertikal menggambarkan cabang biologi berdasarkan kelompok makhluk hidup yang dikaji, sedangkan keratan horizontal menggambarkan cabang-cabang biologi berdasarkan aspek yang dikaji (Widayati dkk., 2009). Sebagai aspek yang dikaji, objek utama yang dipelajari dalam biologi meliputi dunia tumbuhan (botani), dunia hewan (zoologi), dan mikroorganisme (mikrobiologi).



Gambar 3.1. Keratan kue lapis yang menggambarkan cabang-cabang dalam biologi
(Sumber : Widayati dkk., 2009)

Wilayah a merupakan entomologi yang merupakan cabang ilmu yang mempelajari serangga, sedangkan a1 ialah entomologi berdasarkan morfologi, a2 adalah entomologi berdasarkan fisiologi, begitu seterusnya. Seiring dengan perkembangan, keilmuan biologi berkembang sangatlah pesat dalam menghasilkan inovasi terbaru. Diperkirakan kurang lebih 200 jumlahnya meliputi kesehatan, evolusi, luar angkasa, klasifikasi, reproduksi, sel tubuh, ilmu hayati, dan lain-lain. Dalam buku ini, kita akan membahas sebanyak 20 cabang ilmu biologi yang erat kaitannya dengan kehidupan sehari-hari.

3.2.1 Morfologi

Morfologi merupakan salah satu dari cabang ilmu biologi yang menitikberatkan pada struktur eksternal dari tubuh makhluk hidup. Secara luas, morfologi dipandang sebagai satu kesatuan dari struktur eksternal maupun internal makhluk hidup mulai dari tingkat seluler, molekuler, hingga organisme (Sattler & Rutishauer, 1997). Hal-hal yang dipelajari dalam morfologi meliputi ukuran, bentuk, serta struktur yang dimiliki oleh makhluk hidup baik tumbuhan, hewan, maupun mikroorganisme.

Organisme satu dengan organisme lainnya tidak selalu memiliki kesamaan ciri morfologi. Bahkan, dalam satu jenis makhluk hidup terdapat keragaman di dalamnya yang dapat

memunculkan adanya variasi morfologi antar organisme. Plastisitas yang tinggi dan berubah-ubah pada morfologi merupakan akibat dari pengaruh lingkungan (Hemelda dkk., 2018). Data morfologi dari suatu organisme juga mampu menjelaskan hubungan kekerabatan berdasarkan kemiripan ciri antar jenis (Fatimah 2013; Aisah dkk., 2017; Wahyuni & Siregar, 2020). Dalam mempelajari morfologi, sangat diperlukan terminologi dalam mendeskripsikan bagaimana rupa dari organisme tersebut (Herliani & Theodora, 2020).

Di zaman sekarang, morfologi dapat dipadukan dengan kecanggihan peranti perangkat lunak komputer dan *machine learning*. Hasil pengamatan morfologi dapat ditransmisikan ke dalam bentuk data komputer sehingga dihasilkan ontologi yang dapat menjelaskan ciri keseluruhan dari suatu organisme. Bahkan, penggunaan pendekatan kuantitatif melalui *machine learning* dapat merepresentasikan ciri morfologi yang stabil jika dibandingkan dengan penjelasan secara verbal (Zahro dkk., 2014; Haq dkk., 2019). Perkembangan bidang ini memberikan gambaran keanekaragaman suatu organisme dengan variasi bentuk tubuh sebagai bentuk kombinasi yang berkaitan dengan evolusi perkembangan (Sattler & Rutishauser, 2023)

3.2.2 Anatomi

Cabang ilmu ini berkaitan dengan struktur internal dari suatu organisme yang tidak dapat diamati dengan kasat mata. Penggunaan alat bantu seperti mikroskop sangatlah diperlukan dalam mempelajari struktur internal makhluk hidup. Anatomi terbagi menjadi dua yaitu anatomi makroskopis dan anatomi mikroskopis. Keberadaan ilmu ini mulai berkembang di zaman Yunani melalui teknik pembedahan dalam mengungkap struktur internal tubuh. Ilmu ini mulai berkembang pada era Aristoteles yang lebih banyak bekerja dengan hewan sebagai objeknya dalam penelitian anatomi. Dari sinilah, penggunaan istilah 'anatome' yang merujuk pada memotong atau membedah sesuatu dari bagian tubuh. Ia menjelaskan bagian-bagian tubuh yang bervariasi dari satu jenis ke jenis lain berdasarkan pembedahan yang dilakukan (Cosans, 2001).

Perkembangan keilmuan ini mulai terlihat di abad ke-30 sebelum masehi di Alexandria, Mesir. Herophilus dan beberapa pemuda melihat bahwa pentingnya ilmu ini di dunia kesehatan pada generasi mendatang (Cosans, 2001). Hingga pada abad ke-19, kajian anatomi digunakan sebagai anatomi perbandingan yang erat kaitannya terhadap teori evolusi. Keilmuan ini lebih fokus kepada kesamaan dan perbedaan struktur suatu organisme yang merupakan hasil evolusi dari kehidupan sebelumnya. Hasil temuan Galen terhadap pengamatan anatomi cabang laringeal pada *nervus vagus* yang diduga kuat sebagai pembentuk pita suara pada babi ternyata juga dijumpai pada mamalia lain termasuk manusia (Cosans & Frampton, 2009).

Kajian anatomi memiliki peran penting dalam kehidupan. Purnobasuki (2014) menjelaskan bahwa serat kayu yang terdapat lignin menjadi kualitas penentu dalam pemilihan bahan kertas. Kandungan tanin dan kerapatan trikoma glandular menjadi penentu kapan daun teh harus dipetik; jumlah cincin lingkaran pada batang dikot menentukan umur dari suatu pohon. Selain itu, daun Kecubung (*Datura metel*) memiliki senyawa turunan tropan seperti hiosiamin dan atropin pada trikoma glandularnya. Sampai dengan saat ini, anatomi telah berkolaborasi dengan ilmu biologi lain seperti fisiologi (penentuan laju fotosintesis terhadap kerapatan parenkim palisade daun), ekologi (interaksi tumbuhan dengan lingkungan), serta fitopatologi (interaksi tumbuhan dengan parasit).

3.2.3 Sistematika

Cabang ilmu ini berkaitan dengan diversitas suatu organisme dan keanekaragaman disertai dengan hubungan biologis diantara mereka (Simpson, 1961). Sistematika berasal dari bahasa Yunani yang dilatinkan yaitu *systema*. Sistematika merupakan ilmu besar dari taksonomi, sedangkan taksonomi merupakan teori dan praktik klasifikasi dari organisme. Taksonomi pertama kali diusulkan oleh Candolle sebagai teori klasifikasi tumbuhan. Studi sistematika menambah kajian taksonomi dan hubungan kekerabatan evolusi yang terjadi diantara mereka (Rifai, 2015; Rosadi & Pratomo, 2021). Di dalam sistematika, salah satu pokok pikiran utamanya adalah menentukan ciri-ciri unik yang dimiliki oleh spesies atau takson

yang lebih tinggi yakni dengan cara membandingkan. Pemikiran lain adalah menentukan ciri-ciri yang secara umum dimiliki oleh berbagai takson, sehingga menimbulkan terjadinya persamaan maupun perbedaan diantara takson-takson tersebut. Takson merupakan suatu kelompok organisme yang dikenal sebagai unit formal pada sembarang tingkatan atau hierarki klasifikasi (Simpson, 1961).

Perkembangan keilmuwan ini mulai terlihat sejak zaman Hippocrates (377 SM). Selanjutnya diteruskan oleh Aristoteles (384-322 SM) dalam mempelajari zoologi berdasarkan cara hidup, aksi-aksi, kebiasaan perilaku, serta morfologi tubuh. Kemunculan Carolus Linnaeus memiliki pemikiran erat terhadap prinsip klasifikasi. Inovasi beliau dengan adanya kunci identifikasi yang memudahkan pengguna dalam mengenali suatu objek Rosadi & Pratomo, 2021; Tjitrosoedirdjo & Chikmawati, 2020). Taksonomi bersifat dasar dan memuncak. Dasar berarti ilmu ini mendasari ilmu lain dan memuncak maknanya keberadaan cabang ilmu biologi lain tidak dapat terlepas dari peran sistematika (Setiawan, 2023).

Seiring berjalannya waktu, keilmuwan bidang ini telah meningkat dengan banyaknya orang-orang yang sadar akan lingkungan khususnya di bidang konservasi. Kepakaran sistematika dalam justifikasi suatu jenis organisme memiliki peranan penting dalam pengambilan kebijakan dalam melestarikan jenis melalui penerbitan undang-undang beserta strategi konservasi dalam pencegahan terhadap kepunahan (Mace, 2004). Dalam kurun waktu 50 tahun terakhir, sumbangsih taksonomiwan telah melahirkan beragam jenis baru mencapai 1.000 jenis dari kelompok tumbuhan, hewan, mikrob, dan jamur (Ardhiyani dkk., 2017).

3.2.4 Fisiologi

Cabang ilmu ini berkaitan dengan biomolekul, sel, jaringan, organ, sistem organ, hingga organisme secara keseluruhan yang menjalani fungsi fisik dan kimianya. Terminologi ini berasal dari bahasa latin yakni *physis* yang artinya alam dan *logos* adalah ilmu. Sebagai makhluk hidup, organisme tak lepas dari sel yang merupakan unit fungsional terkecil dalam kehidupan. Aktivitas yang terjadi di dalam sel hidup meliputi makan, menyerap dan

menggunakan energi dari luar, melakukan pengontrolan kerja tubuh seperti pengaruh hormonal terhadap regulasinya, serta tumbuh dan berkembang sesuai kebutuhan hidup (Handoko & Rizki, 2021)

Fisiologi mulai berkembang pada abad ke-15 di mana buku karangan William Harvey tentang peredaran darah sebagai tonggak awal keilmuan ini. Paparan yang terdapat dalam buku tersebut belum diterima oleh beberapa orang. Setelah 1840, konsep kesehatan di Jerman mulai berkembang berkat temuan Rudolf Virchow tentang patologi dan fisiologi sel serta diikuti Louis Pasteur, Ignaz Semmelweis, dan Robert Koch (bakteriologi). Claude Bernard (1813–1878) kemudian menemukan konsep *milieu interieur* (lingkungan internal), yang kemudian disebut sebagai “homeostasis” oleh peneliti dari Amerika, Walter Cannon. Pada 1990, fisiologi telah memasuki masa keemasan kedua di mana muncul sistem biologi tingkat sel dan mekanisme interaksi yang dikombinasikan dengan pemahaman fungsi sel secara menyeluruh dengan pemodelan komputer yang disebut dengan fisionom (pendekatan secara *in-silico*) (Westerhof, 2011) (Gambar 3.2).



Gambar 3.2. Sejarah perkembangan fisiologi
(Sumber : Westerhof, 2011)

Ilmu Fisiologi telah diajarkan sejak tahun 1953. Pada kurun waktu tersebut hingga 1968, ilmu ini diberikan pada masa *bachelor* tingkat I yang kemudian dikenal sebagai sarjana muda. Berdasarkan objek kajiannya dikenal fisiologi manusia, fisiologi tumbuhan, dan fisiologi hewan; meskipun prinsip fisiologi bersifat universal dan tidak bergantung pada jenis organisme yang dipelajari (Khairuna, 2019).

3.2.5 Genetika

Cabang ilmu ini mempelajari tentang pewarisan sifat, keragaman ciri, serta penyakit yang dapat diwariskan dari tetua kepada zuriatnya. Kajian ini dimulai dari wilayah subseluler hingga populasi. Ilmu ini menjelaskan bagaimana sifat diwariskan, informasi genetik dapat diekspresikan, informasi genetik dapat dipindahkan dari satu individu ke individu lain, serta mekanisme pewarisannya (Arsal, 2018; Rider, 2020).

Gregor Mendel merupakan inisiator dalam keilmuan ini sehingga ia dijuluki sebagai Bapak Genetika. Antara 1856 dan 1853 ia mendesain sebuah eksperimen dengan menyilangkan sebanyak 30.000 kacang ercis di kebun percobaannya. Kacang ercis ia pilih sebagai bahan penelitian karena biji bervariasi dan ciri fenotipe mudah dicirikan (Gambar 3.3). Mendel melaporkan hasil temuannya tersebut pada jurnal *Versuche u'ber Pflanzen-Hybriden* pada 1865. Tulisan yang termuat dalam jurnal tersebut berisikan (Rider, 2020):

1. Dua faktor turunan muncul dari masing-masing sifat yang diwariskan;
2. Faktor keturunan terdiri atas gamet yang berjumlah sama;
3. Gamet terdiri hanya satu sifat untuk masing-masing sifat;
4. Gamet berpadu secara acak dan tidak mempertimbangkan faktor genetik yang dibawanya;
5. Ketika gamet terbentuk, faktor sifat berpadu secara bebas.



A



B

Gambar 3.3. Awal mula genetika. A. Gregor Mendel, sang bapak Genetika; B. Kacang ercis yang digunakan oleh Mendel: biji halus (bawah) dan biji kisut (atas)
(Sumber : Rider, 2020)

Paparan ini ditolak oleh beberapa ilmuwan karena menyalahi teori evolusi yang dikemukakan oleh Darwin. Teori ini mulai diterima pada 1884 setelah Mendel meninggal dan menjadi sebuah hukum Mendel I (hukum segregasi) dan hukum Mendel II (hukum berpadu bebas) yang dikenal oleh banyak orang saat ini. Perkembangan ilmu genetika setelah era Mendel mulai berkembang dengan temuan struktur DNA oleh Watson-Crick, genetika molekuler, hingga rekayasa genetika (Arsal, 2018).

3.2.6 Ekologi

Cabang ini mempelajari tentang interaksi timbal balik antara makhluk hidup dengan habitat lingkungannya. Berasal dari bahasa Yunani yakni *oikos* (rumah) dan *logos* (ilmu). Ekologi pertama kali diperkenalkan oleh Ernest Haeckel pada 1869 dan merupakan dasar dari ilmu biologi. Tidak hanya itu, pionir mikroskop Antonie van Leeuwenhoek juga mempelajari rantai makanan dan regulasi populasi. Begitu juga dengan Hippocrates, Aristoteles, dan para filsuf Yunani lainnya. Ruang lingkup ekologi meliputi populasi, komunitas, ekosistem, hingga biosfer. Studi ekologi dikelompokkan ke dalam *autoekologi* dan *sinekologi* (Utomo dkk., 2014; Maknun, 2017).

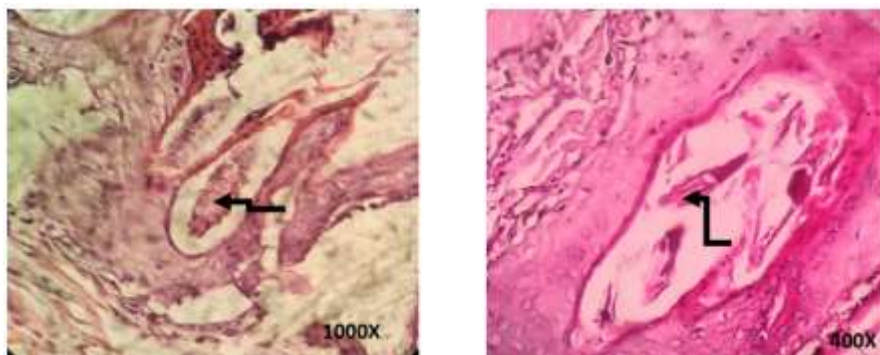
Penerapan ekologi telah ada sejak zaman nenek moyang kita. Penggunaan pupuk kandang, pupuk hijau, pupuk kompos, serta pupuk alam lainnya membantu penyerapan hara pada tanaman. Penggunaan pupuk dengan pendauran siklus hara suatu tanaman merupakan satu contoh interaksi antara faktor abiotik (tidak hidup) terhadap biotik (hidup). Ekologi berkaitan erat dengan ilmu lain seperti fisika, kimia, pertanian, kehutanan, ilmu gizi, klimatologi, dan lainnya. Beberapa contoh permasalahan ekologi meliputi pencemaran hutan, perkembangan penduduk, masalah makanan, penggunaan energi, kenaikan suhu bumi karena efek rumah kaca atau pemanasan global dan lainnya (Utina & Baderan, 2009).

3.2.7 Histologi

Cabang ini mempelajari tentang jaringan tubuh yang dapat menyusun suatu organ. Istilah ini dipakai oleh A.F.J.K Mayer pada 1819. Histologi berasal dari bahasa Yunani yaitu *histos* (jaringan) dan *logos* (ilmu). Pada dasarnya jaringan terdiri dari dua komponen

utama yaitu sel dan matriks ekstraseluler. Jaringan terdiri dari jaringan epitel, jaringan ikat, jaringan otot, dan jaringan saraf yang merupakan komponen fundamental tubuh. Histologi merupakan perkembangan dari cabang anatomi mikroskopik. Pengkajian histologi menggunakan preparat awetan dengan metode mikroteknik dan diamati dengan mikroskop (Soesilowati, 2020; Mescher, 2021).

Tidak hanya digunakan dalam mempelajari struktur penyusun jaringan pada organ, kajian histologi juga menitikberatkan pada studi kerusakan jaringan akibat suatu zat tertentu. Kajian ini disebut dengan **histopatologi**. Histopatologi banyak digunakan dalam dunia kedokteran melalui pemeriksaan lapisan jaringan tipis suatu organ dengan bantuan mikroskop. Pemeriksaan histopatologi berfungsi dalam penegakan diagnosis suatu penyakit yang melibatkan perubahan fungsi fisiologis dan deformasi organ (Gambar 3.4).



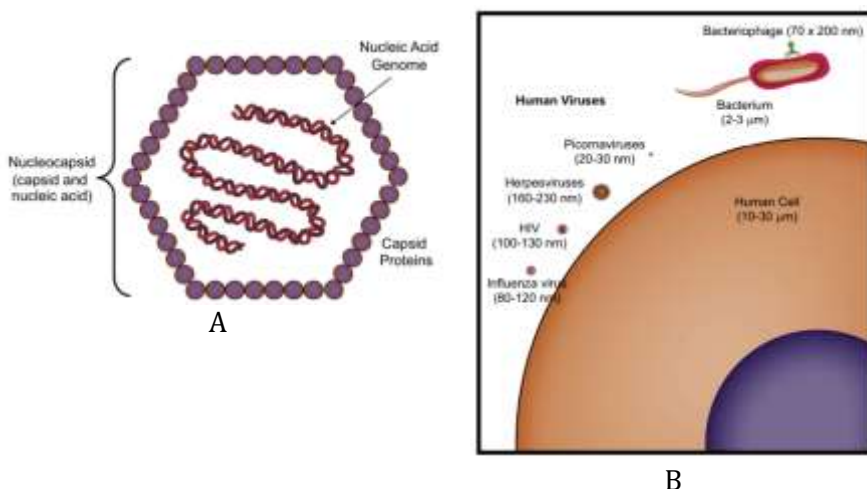
Gambar 3.4. Contoh gambaran histopatologi. Terlihat adanya potongan *Demodex* sp. Pada folikel rambut kulit (↗). Pewarnaan HE (Hematoxylin dan eosin)
Sumber : Putra dkk., 2019)

3.2.8 Virologi

Cabang ilmu ini mempelajari tentang virus. Virus merupakan organisme parasit intraseluler obligat. Kemunculan organisme ini ditandai dengan masuknya partikel virus ke dalam sel inang dan menjadi aktif dalam menggandakan diri (Louten, 2016; Arsi dkk.,

2022). Virus pertama kali diteliti oleh Louis Pasteur di tahun 1857 pada ulat sutera dan rabies, hingga menemukan vaksin rabies. Pada 1885. Dilanjutkan oleh Dmitri Losifovich Ivanovsky dan Peneliti dari Belanda Martinus Beijerinck pada tahun 1898 yang berhasil menemukan penyakit bercak mosaik pada tembakau. Friedrich Loeffler dan Paul Frosch berhasil menemukan virus yang menyerang hewan ternak yang ditandai dengan gejala luka pada bagian mulut dan kaki.

Virus memiliki karakteristik berukuran kecil (20-100 nm), parasit intraseluler obligat (aktif di dalam tubuh inang), serta memiliki materi genetik (DNA atau RNA). Struktur tubuh virus terdiri dari **kapsid** (selubung protein), **asam nukleat** yang terletak dalam kapsid, serta **nukleokapsid** (gabungan antara asam nukleat dan kapsid) (Louten, 2016) (Gambar 3.5). Meskipun virus lebih dominan peranannya sebagai organisme merugikan, beberapa diantaranya memiliki keuntungan. Peran menguntungkan tersebut diantaranya: pembuatan vaksin, terapi gen, pembuatan perangkat elektronik, biopestisida, produksi interferon, dan pembuatan hormon insulin (Gebre dkk., 2021; Umair dkk., 2022).



Gambar 3.5. Struktur tubuh virus (A) dan perbandingan ukuran virus terhadap mikroorganisme lain (B)
(Sumber : Louten, 2016)

3.2.9 Mikologi

Cabang ilmu ini mempelajari tentang jamur ditinjau dari sisi sistematika, fisiologi, molekuler, serta peranannya dalam kehidupan. Mikologi berasal dari bahasa Yunani yaitu *mykes* (jamur) dan *logos* (ilmu). Pertama kali dirintis oleh Pier Antonio Micheli yang merupakan salah satu pionir dalam mempelajari jamur dan dipublikasikan berjudul *Nova Plantarum Genera* pada 1729 (Suryani dkk., 2020). Jamur tergolong ke dalam kingdom tersembunyi karena kemelimpahannya di beragam habitat dan masih menyimpan misteri (Petersens, 2013).

Jamur memiliki karakteristik eukariota (uniseluler atau multiseluler), tidak memiliki klorofil, heterotrof, memperoleh makanan dengan cara absorpsi, serta hidup secara parasit, saprofit, dan mutualisme. Hingga saat ini, keanekaragaman jamur mencapai lebih dari 100.000 jenis. Jamur memiliki peranan menguntungkan diantaranya sebagai bahan makanan fermentasi, bahan obat-obatan, vitamin, asam amino, hormon, protein, dan sebagainya. Namun, ada juga yang bersifat merugikan sebagai penyebab timbulnya penyakit serta penghasil toksin (Rahayu dkk., 2015; Faidah dkk., 2017; Faridah & Sari, 2019; Nurhidayah dkk., 2021).

3.2.10 Bakteriologi

Cabang ilmu ini mempelajari tentang kehidupan bakteri yang ditinjau berdasarkan sistematika, fisiologi, hingga pada taraf molekulernya. Cabang ini merupakan pecahan dari mikrobiologi. Klasifikasi bakteri menempatkan ke dalam Kingdom Monera berdasarkan Whittaker. Cakupan bakteriologi meliputi sel bakteri, pengendalian bakteri, serta peranan bakteri (Boleng, 2015).

Mempelajari bakteriologi membuka khazanah pengetahuan kita akan peranan dalam kehidupan. Bakteri ada yang bersifat menguntungkan antara lain sebagai bahan pangan fermentasi, bidang kesehatan yaitu dengan keberadaan *Escherichia coli* pada usus besar manusia dalam penguraian zat sisa, pengurai beberapa senyawa organik dilingkungan, serta menghasilkan produk berupa insulin rekombinan (Joutey dkk., 2013; Landgraf & Sandow, 2016; Dimidi dkk., 2019; Foster-Nyarko & Pallen, 2022). Namun, sebagian besar diantaranya bersifat merugikan karena dapat menyebabkan

penyakit. Di samping itu, ilmu ini dapat dipelajari secara terapan pada dunia kedokteran, pangan, industri, pertanian, maupun lingkungan dalam menghasilkan temuan baru dalam bidang bakteriologi (Boleng, 2015).

3.2.11 Evolusi

Cabang ilmu ini berisikan teori yang mempelajari perubahan-perubahan bentuk dan tingkah laku organisme dari satu generasi ke generasi lain, bentuk-bentuk organisme yang termodifikasi dari nenek moyang selama proses evolusi. Pelopor dalam teori evolusi, Charles Darwin, dalam bukunya *The Origin of Species* yang diterbitkan pada 1859 mengemukakan bahwa keberadaan makhluk hidup saat ini diyakini berasal dari perkembangan makhluk hidup sebelumnya berdasarkan struktur maupun fungsi dan secara turun temurun dari generasi ke generasi (Amri, 2020; Cassidy, 2021).

Mempelajari evolusi dapat dilakukan melalui pendekatan berupa studi hubungan kekerabatan antar organisme dan membandingkan dengan nenek moyangnya. Hakikat dalam mempelajari evolusi antara lain menjelaskan fakta yang terjadi dengan dipadukan oleh konsep esensial dalam teori evolusi, sehingga teori evolusi ini terus berkembang dari waktu ke waktu yang juga diikuti dengan konsep-konsepnya. Selain itu, banyak yang menyanggah bahwa mempelajari evolusi sangat bertolak belakang dengan paham ajaran agama yang dianut. **Homologi** merujuk pada kesamaan struktur individu yang berbeda jenis dalam kelompok monofiletik dan diduga berasal dari moyang terdahulu. Struktur homologi dapat didemonstrasikan berdasarkan beberapa kriteria, antara lain (Carrol, 1988):

1. Posisi – konfigurasi tulang yang berubah secara signifikan, namun posisinya terhadap struktur lain relatif konstan;
2. Perkembangan – jaringan embrionik dari suatu tulang berkembang sama dan pola ontogeni terlihat sama pada semua kelompok;
3. Evolusi – perubahan bentuk suatu tulang terungkap berdasarkan catatan fosil yang dapat ditelusuri dari satu kelompok terhadap kelompok lain.

Teori evolusi tidak bertentangan dengan ajaran agama manapun karena dapat dijelaskan proses-proses yang terjadi di masa lampau, meskipun masih bersifat hipotetik yang didasari dengan fakta dan asumsi yang kuat. Konsep teori seleksi alam yang dipelopori oleh Darwin menjadi salah satu teori yang diyakini oleh komunitas sains sebagai teori terbaik dalam menjelaskan peristiwa evolusi (Sari, 2020).

3.2.12 Entomologi

Cabang ilmu ini berkaitan dengan serangga yang ditinjau berdasarkan sistematika, fisiologi, hingga ke tahap genetika dan molekuler. Istilah entomologi berasal dari bahasa Yunani yaitu *entomon* (irisian atau potongan) dan *logos* (ilmu). Serangga termasuk ke dalam bangsa Insecta yang dicirikan dengan tubuh terbagi atas tiga ruas yaitu kepala, toraks, dan abdomen. Serangga bernapas menggunakan trakea serta tungkainya berjumlah tiga pasang. Serangga merupakan salah satu organisme yang paling melimpah di Bumi dengan persentase kemelimpahan mencapai 56,3% (McGavin & Davranoglou, 2021).

Keberadaan serangga memiliki berbagai peranan di beberapa bidang seperti pertanian, perikanan, peternakan, industri, hingga peradaban manusia. Keberadaan serangga juga menyediakan relung di dalam suatu ekosistem karena memiliki peranan di dalam trofik ekosistem serta menjaga keseimbangan ekosistem dengan memegang peranan sebagai siklus ekosistem, penyerbukan, predasi, dan kompetisi. Melalui peran ini, keberadaan serangga yang dianggap sebagai musuh dalam pertanian dapat ditekan melalui manajemen pengendalian untuk meningkatkan hasil pertanian (Jankielsohn, 2018).

3.2.13 Etologi

Cabang ilmu ini mempelajari tentang studi ilmiah dan objektif pada perilaku hewan. Ilmu ini fokus pada perilaku saat di kondisi alam dan sifat adaptif evolusioner. Kajian ini tertarik pada perilaku hewan yang diamati berdasarkan sifat agresif, makan, perilaku seksual, serta sosial. Istilah etologi dipopulerkan oleh *myrmecologist* (mempelajari perilaku semut) asal Amerika pada

1902 oleh William Morton Wheeler. Etologi adalah kombinasi antara laboratorium dan bidang sains dengan hubungan yang kuat terhadap keilmuan lain seperti neuroanatomi, ekologi, dan biologi evolusioner. Pada abad ke-20, neuroetologi menjadi bagian dari kajian etologi yang berkembang saat ini (Winarno & Harianto, 2018).

3.2.14 Mamologi

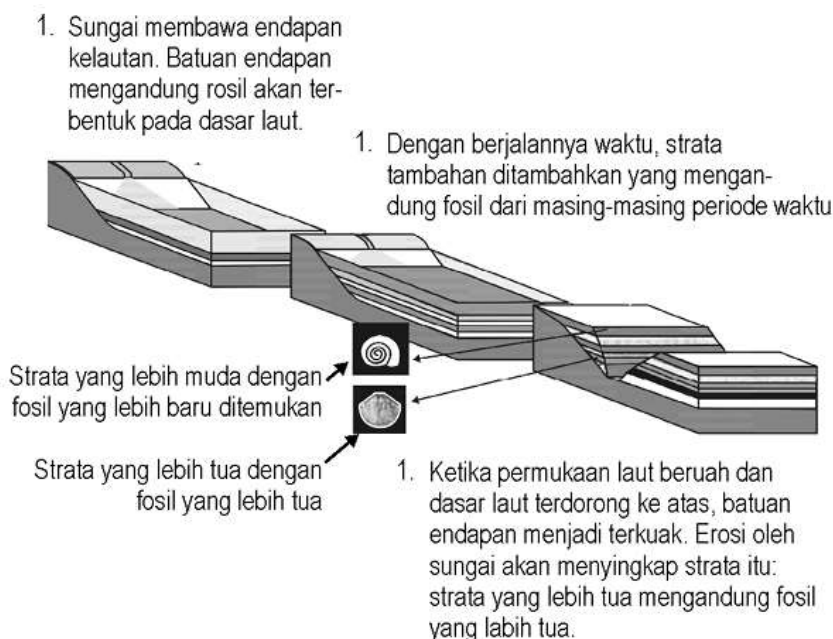
Cabang ini mempelajari tentang seluk beluk mamalia, yang merupakan kelas vertebrata. Mamalia memiliki peranan penting dalam sistem ekologi yang terlihat sebagai penyusun komponen jaring-jaring makanan baik pada ekosistem terestrial maupun akuatik, transfer energi dan nutrisi. Selain itu, ia juga berperan dalam penyebaran penyakit (zoonosis). Pada abad ke-20, beragam ilmu biologi juga sudah mulai berkembang seperti biogeografi, biologi perkembangan, etologi, biologi molekuler, dan penyejajaran sekuens DNA menjadi keilmuan yang mendukung dalam kajian mamologi (Feldhamer dkk., 2020).

Dalam prosesnya, metode studi mamalia dimulai dari penangkapan hewan yang dapat diikuti dengan penandaan mamalia yang akan dikaji, pengamatan perilaku hewan, pengecekan suara yang ditimbulkan, pengukuran fisiologi berupa nutrisi, kadar metabolisme, cara reproduksi serta diikuti dengan analisis molekuler. Selain pengamatan di alam, mempelajari mamalia juga dapat menggunakan sarana lain yaitu kunjungan ke museum zoologi. Data yang bisa didapatkan untuk studi mamologi meliputi variasi dan filogeografi dalam jenis, hubungan kekerabatan antar jenis, secara kajian filogenetik (Feldhamer dkk., 2020).

3.2.15 Paleontologi

Cabang ilmu ini berkaitan dengan studi sejarah kehidupan awal di Bumi berdasarkan tinjauan bukti fosil. Fosil banyak ditemukan dalam lapisan batuan sedimen (batuan endapan) yang terbentuk dari pasir dan lumpur yang mengendap di dasar laut, danau, atau rawa. Lapisan ini selanjutnya akan menutupi endapan lapisan yang lebih tua dan menekan menjadi lapisan-lapisan batu yang saling berhimpitan yang disebut dengan strata (Ristata, 2013)

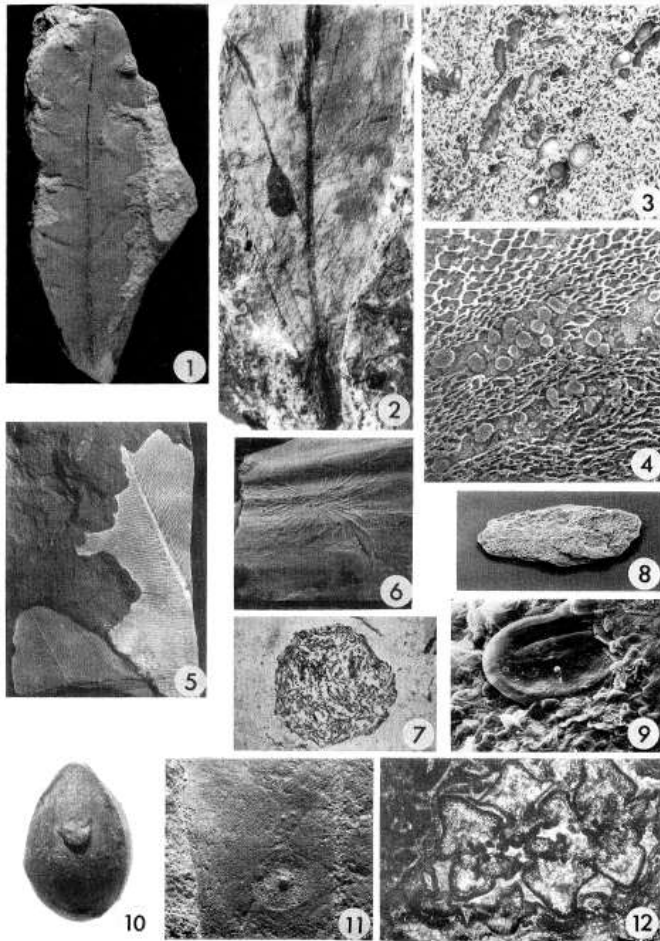
(Gambar 3.6). Mempelajari catatan fosil dapat menentukan hubungan antar kekerabatan suatu jenis dan asal muasal karakteristik penyusun tulang dari masing-masing kelompok besar serta dapat merekonstruksi kejadian yang telah terjadi di masa lalu (Carrol, 1988).



Gambar 3.6. Pembentukan batuan endapan dan endapan fosil dari beberapa periode waktu yang berbeda, masing-masing stratum menggambarkan suatu periode tertentu dalam sejarah bumi ditandai oleh suatu kumpulan fosil organisme yang hidup saat itu (Sumber : Ristata, 2013)

George Cuvier, ahli anatomi dari Perancis mencoba mendokumentasikan suksesi spesies-spesies yang terjadi di Lembah Paris. Ia menyadari bahwa setiap stratum ditemukan fosil yang unik. Semakin dalam (semakin tua) stratum, maka semakin berbeda flora (kehidupan tumbuhan) dan fauna (kehidupan hewan) dari kehidupan modern. Kajian paleontologi meliputi **paleobotani** dan **paleozoologi**. Kajian paleobotani menitikberatkan pada fosil tumbuhan, rekonstruksi takson, dan sejarah evolusi tumbuhan;

sedangkan paleozoologi lebih fokus kepada hewan bersel banyak dari sistem geologi. Paleontologi memiliki hubungan erat dengan evolusi (Gambar 3.7). Paleontologi tidak dapat berdiri sendiri, sehingga diperlukan kedekatan erat terhadap kajian lain seperti biostratigrafi, kronostratigrafi, dan mikropaleontologi (Kemendikbudristek, 2014).



Gambar 3.7. Foto 1 hingga 12 merupakan dokumentasi yang menunjukkan interaksi antara tumbuhan dan Arthropoda yang terjadi di zaman Paleozoikum dan Mesozoikum (Sumber : Chaloner dkk., 1991)

3.2.16 Biologi Forensik

Cabang ilmu ini berkaitan dengan forensik dengan menggunakan pendekatan biologi dari skala jasad hingga molekuler dalam mengungkap kebenaran suatu bukti hayati. Di zaman sekarang, biologi forensik menjadi satu keilmuan penting dalam ilmu forensik dan kriminologi untuk mengungkap kasus kejahatan secara kriminal. Dalam praktiknya, biologi forensik lebih banyak bekerja menggunakan beberapa parameter biologis seperti rambut, darah, feses, sidik jari, cairan semen pada sperma, urin, jaringan kulit, jaringan lunak, cairan vagina, cairan kelenjar saliva, serta struktur atau lapisan tulang (Al Hakim dkk., 2022).

Sebagai salah satu keilmuan yang bersifat ilmiah, pengecekan sampel uji yang digunakan dalam analisis biologi forensik dapat diselesaikan dan dibuktikan kebenarannya karena kajian ini melibatkan bioterorisme, biologi molekuler forensik berdasarkan struktur DNA, patologi forensik, toksikologi forensik, serta serologi. Bahkan, kejadian kematian secara mendadak serta kasus pembunuhan yang terjadi baik secara wajar maupun tidak wajar dapat diungkapkan kebenarannya melalui pendekatan biologi forensik (Rianti dkk., 2018; Salsabila & Arafat, 2022).

3.2.17 Biogeografi

Cabang ini berkaitan dengan distribusi organisme yang hidup di Bumi. Persebaran hewan dalam zona biogeografi terbagi menjadi beberapa bioregion meliputi: Australia, Oriental, Ethiopia, Neotropika, Paleartik, dan Neartik. Pola persebaran fauna Paleartik dan Neartik dapat disebut sama sehingga disebut persebaran Holartik. Berbeda dengan tumbuhan, zonasi biogeografi tersusun atas bioregion Paleotropis (Afrika, Asia, dan Australia) dan Neotropis (Kepulauan karibia, Amerika Tengah, dan Amerika Selatan) (Gambar 3.8). Bioregion yang terbentuk inilah menjadi ciri penentu dari organisme penyusunnya. Distribusi suatu organisme dipengaruhi oleh sejarah, iklim, masa lalu, bentuk-bentuk benua dan hubungan ekologis yang terjadi pada masa lampau hingga sekarang, serta interaksi yang terjadi satu sama lain (Zid & Hardi, 2018).



Gambar 3.8. Zonasi biogeografi pada tumbuhan dan hewan
(Sumber : Zid & Hardi, 2018)

3.2.18 Ornitologi

Ornitologi berkaitan dengan cabang dari ilmu zoologi yang mempelajari tentang burung ditinjau dari morfologi, anatomi perbandingan, sistematika, molekuler, serta manfaat berdasarkan persepsi masyarakat (etno-ornitologi). Burung adalah salah satu jenis satwa yang sangat terpengaruh keberadaannya akibat alih guna lahan hutan. Keanekaragaman jenis burung mencerminkan tingginya keanekaragaman hayati yang dapat menjadi indikator kualitas hutan (Ayat, 2011). Secara morfologi, burung dicirikan dengan organisme bipedal, bertulang belakang, tubuh tertutupi oleh bulu, serta memiliki paruh (Gill, 2007).

Indonesia sebagai kawasan tropis didominasi oleh burung dengan keanekaragaman total mencapai 1.723 jenis dengan tingkat penyebaran yang bervariasi (BirdLife International, 2017). Dalam menekuni bidang ini, diperlukan ketepatan dalam pengambilan fotografi burung. Beberapa peralatan pendukung seperti teropong binokuler dengan ukuran lensa 10x50mm untuk pengamatan burung berukuran besar dan 10x30mm untuk pengamatan burung berukuran kecil. Dokumentasi dapat menggunakan kamera SLR Nikon D80 dan Canon 1000D dengan lensa tele 70-300 mm. Tidak ketinggalan juga alat perekam suara untuk merekam suara burung

yang ditimbulkan untuk memudahkan identifikasi serta buku lapangan identifikasi burung yang disesuaikan dengan wilayah pengamatannya (Ayat, 2011).

3.2.19 Astrobiologi

Ilmu ini berkaitan dengan studi mengenai benda hidup di alam semesta. Ilmu ini berkembang bertujuan untuk mengetahui kehidupan di suatu tempat dengan dipengaruhi pengetahuan manusia terhadap kehidupan Bumi. Astrobiologi juga mempelajari konsep bagaimana evolusi dan keberagaman dapat muncul di Bumi. Istilah Astrobiologi muncul dari seorang astronot bernama Otto Struve kemudian diadopsi oleh NASA pada 1995 (Chyba & Hand, 2005). Sebagian besar penelitian berfokus pada penemuan keberadaan kehidupan layak huni di planet selain Bumi seperti Venus, Mars, bulan Jovian Eropa, dan Saturnus.

3.2.20 Biofisika

Kajian ini merupakan salah satu cabang dari ilmu fisika yang mengkaji aplikasi aneka perangkat hukum fisika untuk menjelaskan aneka fenomena biologi. Beberapa perangkat fisika yang diterapkan dalam bidang biologi meliputi: bioelektromagnetik, fisika optik, fisika kedokteran (biomekanika, bioakustik, biooptik, dan biolistrik), serta geofisika (Damayanti dkk, 2016).

DAFTAR PUSTAKA

- Aisah, B. N., Soegianto, A., Basuki, N. 2017. Identifikasi morfologi dan hubungan kekerabatan tanaman Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) di Kabupaten Nganjuk, Madiun, dan Bojonegoro. *Jurnal Produksi Tanaman*, 5(6), 1035–1043. <http://protan.studentjournal.ub.ac.id/index.php/protan/article/view/475>.
- Al Hakim, R. R., Putri, E. R. C., Rukayah, S., Nasution, E. K. 2022. Kontribusi biologi dalam ilmu forensik. Makalah disampaikan pada Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek (SNPBS) ke-VII: Isu-Isu Strategis Sains, Lingkungan, dan Inovasi Pembelajarannya. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta, 27 Mei 2021.
- Amin, M. 2016. Perkembangan biologi dan tantangan pembelajarannya. Makalah disampaikan pada Seminar Nasional Pendidikan dan Saintek: Isu-Isu Kontemporer Sains, Lingkungan, dan Inovasi Pembelajarannya. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta, 21 Mei 2016.
- Amri. 2020. *Buku Ajar Evolusi*. Pare-pare: UMPAR Press.
- Ardhiyani, M., Dwibadra, D., Dewi, K., dkk. 2017. *Temuan dan Pertelaan Jenis Baru Biota Indonesia 1967-2017: Sumbangsih LIPI untuk Sains*. Bogor: LIPI Press.
- Arsal, A. F. 2018. *Genetika I Arif Memahami Kehidupan*. Makassar: Badan Penerbit Universitas Negeri Makassar.
- Arsi, Syabana, R A., Supyani, dkk. 2022. *Virologi Tumbuhan*. Padang: Yayasan Kita Menulis.
- Ayat. A. 2011. *Panduan Lapangan Burung-burung Agroforest di Sumatera*. Bogor: World Agroforestry Centre.
- BirdLife International. 2017. Burung Indonesia. Diakses pada tanggal 15 September 2023 melalui laman <https://www.birdlife.org/partners/indonesia-burung-indonesia/>.
- Boleng, D. T. 2015. *Bakteriologi: Konsep-konsep Dasar*. Malang: UMM Press.
- Carrol, R. L. 1988. *Vertebrate Paleontology and Evolution*. New York: W.H. Freeman and Company.

- Cassidy, M. 2021. *Biological Evolution: An Introduction*. Oxford: Cambridge University Press.
- Chaloner, W. G., Scott, A. C., Stephenson, J., dkk. 1991. Fossil evidence for plant-arthropod interactions in the Palaeozoic and Mesozoic [and discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 333, 177–186. <https://doi.org/10.1098/rstb.1991.0066>.
- Chyba, C F., Hand, K. P. 2005. Astrobiology: the study of the living universe. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 43, 31–74. <https://doi.org/10.1146/annurev.astro.43.051804.102202>.
- Cosans, C. E., Frampton, M. 2009. History of comparative anatomy. *Encyclopedia of Life Sciences*, 1–8. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0003085.pub2>.
- Cosans, C. E. 2015. History of classical anatomy. *Encyclopedia of Life Sciences*, 1–7 <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0003091.pub2>.
- Damayanti, W., Perdana, K. F., Sukarmin. 2016. Penguasaan konsep biologi berbasis konsep fisika menggunakan pembelajaran tematik dengan model *problem based learning*. Makalah disampaikan pada Seminar Nasional Pendidikan dan Saintek: Isu-Isu Kontemporer Sains, Lingkungan, dan Inovasi Pembelajarannya. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta, 21 Mei 2016.
- Dimidi, E., Cox, S. R., Rossi, M., Whelan, K. 2019. Fermented foods: definitions and characteristics, impact on the gut microbiota and effects on gastrointestinal health and disease. *Nutrients*, 11(1806), 1–26. <https://doi.org/10.3390/nu11081806>.
- Faidah, F., Puspita, F., Ali, M. 2017. Identifikasi penyakit yang disebabkan oleh jamur dan intensitas serangannya pada tanaman buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) di Kabupaten Siak Sri Indrapura. *JOM Faperta UR*, 4(1), 1–14. <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFAPERTA/article/view/16276>.
- Faridah, H. D., Sari, S. K. 2019. Pemanfaatan mikroorganisme dalam pengembangan makanan halal berbasis bioteknologi. *Journal of Halal Product and Research*, 2(1), 33–43. <https://doi.org/10.20473/jhpr.vol.2-issue.1.33-43>.

- Fatimah, S. 2013. Analisis morfologi dan hubungan kekerabatan sebelas jenis tanaman salak (*Salacca zalacca* (Gaertner) Voss. Bangkalan. *Agrovigor*, 6(1), 1–15. <https://journal.trunojoyo.ac.id/agrovigor/article/view/1460>.
- Feldhamer, G. A., Drickamer, L.C., Vessey, S. H., dkk. 2020. *Mammology: Adaptation, Diversity, Ecology*. 4th Edition. Amerika Serikat: John Hopkins University Press.
- Foster-Nyarko, E., Pallen, M. J. 2022. The microbial ecology of *Escherichia coli* in the vertebrate gut. *FEMS Microbiology Reviews*, 46(3), 1–22. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuac008>.
- Gebre, M. S., Brito, L.A., Tostanoski, L., dkk. 2021. Novel approaches for vaccine development. *Cells*, 184, 1589–1603. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.02.030>.
- Gill, F. B. 2007. *Ornithology*. 3rd Edition. New York: W.H. Freeman and Company.
- Haq, J. N. R., Ariyanti, N. S., Juliandi. B., Kessler, P. J. A. 2019. Geometric morphometrics analysis of the pitcher shapes variation among the species of *Nepenthes* L. (Nepenthaceae). Tesis. Bogor: IPB University.
- Handoko, A., Rizki, A. M. 2020. *Buku Ajar Fisiologi Tumbuhan*. Lampung. Prodi Pendidikan Biologi FTIK UIN Raden Intan.
- Hemelda, N. M., Atria, M., Andayani, N. 2018. Variasi morfologi *Calamus javensis* Blume di Taman Nasional Gunung Halimun-Salak (TNGHS). *Biotika*, 16(2), 45–57. <https://doi.org/10.24198/bjib.v16i2.19832>.
- Herliani, Theodora, E. 2020. *Plant Morphology*. Samarinda: FKIP Pendidikan Biologi Universitas Mulawarman.
- Jankielsohn, A. 2018. The importance of insects in agricultural ecosystems. *Advances in Entomology*, 6, 62–73. <https://doi.org/10.4236/ae.2018.62006>.
- Joutey, N. T., Bahafid, W., Sayel, H., Ghachtoulli, N. E. 2013. Biodegradation: involved microorganisms and genetically engineered microorganisms. Dalam Rolando Chamy dan Francisca Rosenkranz (Penyunting), *Biodegradation - Life of Science*. Kroasia: Intech.

- Kemendikbudrisek. 2014. *Paleontologi untuk SMA Kelas X Semester 1*. Jakarta: Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.
- Khairuna. 2019. *Diktat Fisiologi Tumbuhan*. Medan: Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara.
- Landgraf, W., Sandow, J. 2016. Recombinant human insulins –clinical efficacy and safety in diabetes therapy. *European Endocrinology*, 12–17. <https://doi.org/10.17925/EE.2016.12.01.12>.
- Louten, J. 2016. *Essential Human Virology*. Amerika Setrikat: Academic Press.
- Mace, G. M. 2004. The role of taxonomy in species conservation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 359, 711–719. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1454>.
- Maknun, D. 2017. *Ekologi: Populasi, Komunitas, Ekosistem, Mewujudkan Kampus Hijau, Asri, Islami dan Ilmiah*. Cirebon: IAIN Syekh Nurjati Cirebon.
- McGavin, G., Davranoglou, L. 2022. *Essential Entomology. 2nd Edition*. Oxford: Oxford University Press.
- Mescher, A. L. 2021. *Junqueira's Basic Histology: Text and Atlas. 16th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Nurhidayah, A., Dhanti, K. R., Supriyadi. 2021. Identifikasi jamur patogen penyebab dermatofitosis pada jari kaki petani di Desa Bojongsari, Banyumas. *Jurnal Labora Medika*, 5, 8–17. <https://jurnal.unimus.ac.id/index.php/JLabMed/article/view/7274>.
- Palennari, M., Lodang, H., Faisal, Muis, A. 2016. *Blologi Dasar: Bagian Pertama*. Makassar: Alauddin University Press.
- Petersens, J. H. 2013. *The Kingdom of Fungi*. New Jersey: Princetown University Press.
- Putra, I. P. A. A., Budiartawan, I. K. A., Berata, I.K. 2019. Gambaran patologi anatomi dan histopatologi kulit anjing yang terinfeksi demodekosis. *Indonesia Medicus Veterinus*, 8(1), 90–98. <https://doi.org/10.19087/imv.2019.8.1.90>.

- Purnobasuki, H. 2014. Mengembangkan anatomi tumbuhan sebagai kajian biologi yang menarik dan bermanfaat dalam berbagai aspek kehidupan. Pidato disampaikan pada Pengukuhan Jabatan Guru Besar dalam Bidang Ilmu Biologi pada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Surabaya, 13 September 2014.
- Rahayu, S., Nadifah, F., Prasetyaningsih, Y. 2015. Jamur kontaminan pada umbi kentang. *Biogenesis*, 3(1), 28–32. <https://doi.org/10.24252/bio.v3i1.563>.
- Rianti, P., Cristin, E., Widodo, P. T. 2018. Profil DNA forensik pada barang bukti dua kasus pembunuhan di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya HAYATI*, 4(2), 48–56. <https://doi.org/10.29244/jsdh.4.2.48-56>.
- Rider, C. 2020. *A Brief History of Genetics*. England: Cambridge Scholar Publishing.
- Rifai, M. A. 2015. *Asas-asas Sistematika Biologi*. Bogor: Herbarium Bogoriense Puslit Biologi LIPI.
- Ristata, R. 2016. *Evolusi dan Sistematika Makhluk Hidup*. Tangerang Selatan: UT Press.
- Rosadi, B., Pratomo, H. 2021. *Taksonomi Vertebrata*. Edisi Ketiga. Tangerang Selatan: UT Press.
- Salsabila, K. R., Arafat, M. R. 2022. Analisis pemicu kasus kematian mendadak di tinjau menurut ilmu bantu hukum pidana. *Al-Qalam*, 16(1), 77–87. <https://doi.org/10.35931/aq.v16i1.807>.
- Sari, E. 2020. *Diktat Kuliah Evolusi*. Lampung: Progrm Studi Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung.
- Satler, R., Rutishauser, R. 1997. The fundamental relevance of morphology and morphogenesis to plant research. *Annals of Botany*, 80, 571–582. <https://doi.org/10.1006/anbo.1997.0474>.
- Satler, R., Rutishauser, R. 2023. Fundamentals of plant morphology and plant evo-devo (evolutionary developmental morphology). *Plants*, 12(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/plants12010118>.

- Setiawan, A. B. 2023. *Deskripsi*. Dalam Neila Sulung (Penyunting), *Sistematika Tumbuhan*. Padang: GetPress Indonesia.
- Simpson, G. G. 1961. *Principles of Animal Taxonomy*. New York: Columbia University Press.
- Soesilowati, P. 2020. *Histologi Kedokteran Dasar*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Suryani, Y., Taupiqurrahman, O., Kulsum, Y. 2020. *Mikologi*. Padang: PT Freeline Cipta Granesia.
- Tjitrosoedirdjo, S. S., Chikmawati, T. 2020. *Taksonomi Tumbuhan Tinggi. Edisi Ketiga*. Tangerang Selatan: UT Press.
- Umair, M., Akusa, F. N., Kashif, H., dkk. 2021. Viruses as tools in gene therapy, vaccine development, and cancer treatment. *Archives of Virology*, 167, 1387–1404. <https://doi.org/10.1007/s00705-022-05432-8>.
- Utina, R., Baderan, D. W. K. 2009. *Ekologi dan Lingkungan Hidup*. Gorontalo: UNG Press.
- Utomo, S. W., Sutriyono, Rizal, R. 2014. *Ekologi*. Tangerang Selatan: UT Press.
- Wahyuni, S., Siregar, H. M. 2020. Keragaman dan analisis kekerabatan 30 jenis Begonia berdasarkan karakter morfologi. *Buletin Kebun Raya*, 23(2), 91–103. <https://doi.org/10.14203/bkr.v23i2.261>.
- Wardhani, S. P. R. 2021. Intisari Biologi Dasar. Edisi Kedua. Yogyakarta: Diandra Kreatif.
- Westerhof, N. 2011. A short history of physiology. *Acta Physiologica*, 202, 601–603. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2011.02286.x>.
- Widayati, S., Rochmah, S, N., Zubedi. 2009. *Biologi SMA/MA Kelas X*. Jaktarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- Winarno, G. D., Harianto, S. P. 2018. *Perilaku Satwa Liar (Ethology)*. Lampung: CV Anugrah Utama Raharja.
- Zahro, H. Z., Herdiyeni, Y., Hermadi, I. 2014. Pengembangan sistem ontologi untuk morfologi tumbuhan obat. *Jurnal Ilmu Komputer Agri-Informatika*, 3(2), 84–92. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jika/article/view/12205>
- Zid, M., Hardi, S. 2018. *Biogeografi*. Jakarta: PT Bumi Aksara.

BAB 4

EKOSISTEM DAN LINGKUNGAN

Oleh Febriana Siska

4.1 Pendahuluan

Makhluk hidup di dalam kehidupannya melakukan suatu pola interaksi. Interaksi tersebut terjadi antara makhluk hidup dengan lingkungannya, serta antara makhluk hidup dengan makhluk hidup lainnya, dimana keduanya saling memengaruhi (Odum,1993). Pengertian tersebut menjelaskan bahwa, lingkungan dan makhluk hidup merupakan bagian dari ekosistem. Tidak ada ekosistem jika didalamnya hanya terdapat makhluk hidup, begitu juga sebaliknya tidak ada ekosistem jika didalamnya hanya terdapat lingkungan saja.

Lingkungan berperan penting dalam kehidupan makhluk hidup, lingkungan sebagai tempat tinggal makhluk hidup. Lingkungan dapat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup. Lingkungan adalah ruang yang ditempati oleh makhluk hidup seperti manusia, hewan, dan mikroorganisme, serta makhluk hidup dan benda mati di dalamnya yang menempati ruang tertentu (Otto, 2001). Lingkungan merupakan faktor abiotik yang memengaruhi ekosistem terdiri atas suhu, air, salinitas, sinar matahari, batuan dan tanah, iklim. (Campbell, 2010)

4.2 Ekosistem

Para ahli mendefinisikan ekosistem sebagai berikut:

1. A.G Tansley (1935) mendefinisikan ekosistem adalah suatu kesatuan lingkungan hidup yang mempunyai struktur (keanekaragaman spesies) dan fungsi (daur materi dan aliran energi);
2. Woodbury (1954) mendefinisikan ekosistem sebagai kesatuan yang kompleks yang terdiri atas habitat, tumbuhan, dan hewan yang secara keseluruhan memengaruhi daur materi dan aliran energi;

3. Soemarwoto (1982) mendefinisikan ekosistem suatu sistem ekologi yang terjadi hubungan timbal balik antara komponen - komponen penyusunnya;
4. Odum(1993) mendefinisikan ekosistem adalah unit dasar ekologi yang terdiri dari organisme, lingkungannya (baik biotik maupun abiotik), dan terjadi interaksi satu sama lainnya;
5. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, mendefinisikan ekosistem sebagai suatu unsur lingkungan hidup yang menyeluruh dan saling memengaruhi satu sama lainnya untuk membentuk keseimbangan, lingkungan yang stabil, dan *output* lingkungan hidup (Setiadi, 1983).

4.2.1 Komponen Ekosistem

Komponen utama dalam ekosistem terdiri atas biotik dan abiotik. Berdasarkan peran dan fungsinya komponen biotik dibedakan menjadi 3 yaitu produsen, konsumen, dan dekomposer (Campbell, 2010).

1. Produsen

Produsen adalah Organisme penghasil yang mampu mengubah zat anorganik menjadi organik. Produsen disebut juga sebagai makhluk hidup yang dapat melakukan proses fotosintesis dikenal dengan autotrof . Contoh makhluk hidup yang berperan sebagai produsen adalah tumbuhan, alga dan lumut.

2. Konsumen

Konsumen adalah organisme heterotrof yang bergantung pada makhluk hidup heterotrof atau autotrof lain untuk mendapatkan makanannya karena tidak mampu memproduksi sendiri. Istilah "konsumen primer" atau "konsumen tingkat pertama" mengacu pada hewan yang mengonsumsi tumbuhan, seperti sapi. Konsumen yang mengonsumsi konsumen tingkat I disebut sebagai konsumen tingkat II; misalnya katak memakan belalang; konsumen yang mengonsumsi konsumen tingkat II disebut konsumen tingkat III; misalnya ular memakan katak.

3. Dekomposer

Dekomposer adalah makhluk hidup yang memisahkan bahan alam menjadi bahan anorganik. Dekomposer merupakan organisme detrivor. Contoh dekomposer adalah bakteri pembusuk dan jamur.

Komponen abiotik terdiri atas suhu, air, garam-garam mineral, cahaya matahari, tanah dan batu, iklim. (Campbell, 2010)

1. Suhu

Komponen abiotik yang berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup serta kelangsungan makhluk hidup adalah suhu. Metabolisme adalah proses dimana tubuh memenuhi kebutuhannya pada tingkat sel, terjadi reaksi kimia di dalam tubuh makhluk hidup dan melibatkan enzim. Enzim memainkan berbagai peran dalam kehidupan, termasuk mengatur jalur metabolisme tubuh yang rumit dan mempercepat proses reaksi biokimia. Enzim akan bekerja paling baik bila disimpan pada suhu tertentu. Enzim akan rusak pada suhu yang relatif tinggi, dan pada suhu yang sangat rendah akan terhambat atau tidak aktif sehingga menghambat aktivitas metabolisme dalam tubuh dan mengganggu kelangsungan makhluk hidup.

2. Air

Air adalah komponen abiotik penting yang menunjang kehidupan. Pada tumbuhan air digunakan untuk proses fotosintesis, berperan dalam proses transpirasi (Fitter dan Hay, 1994). Air dalam tubuh tumbuhan dan hewan berfungsi sebagai media transportasi, pelarut zat-zat esensial, dan habitat makhluk hidup air.

3. Garam-garam mineral

Ion Nitrogen termasuk dalam garam mineral, Fosfat, Belerang, Kalsium dan Natrium. Sifat tanah dan air ditentukan oleh komposisi garam mineralnya.

4. Cahaya Matahari

Kehidupan mendapatkan energinya dari matahari. Energi matahari akan membentuk angin, hujan, iklim dan cuaca lingkungan. Tumbuhan yang memiliki klorofil menggunakan sinar matahari untuk fotosintesis. Hasil dari fotosintesis salah

satunya yaitu Oksigen yang dimanfaatkan oleh makhluk hidup lain sebagai sumber energi. Energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai tenaga surya pembangkit listrik.

5. Tanah dan Batu

Keterkaitan Ph, komposisi mineral, dan struktur fisik tanah dan bebatuan yang ada di alam, berkaitan dengan distribusi persebaran tumbuhan. Hal ini juga berpengaruh pada persebaran hewan pemakan tumbuhan.

6. Iklim

Iklim adalah pola cuaca yang khas dari suatu wilayah yang lebih luas dan dalam jangka waktu yang lebih lama, memiliki sifat yang stabil (Hairiah *et al.*, 2016).

4.2.2 Interaksi dalam Ekosistem

Interaksi antar komponen ekosistem yaitu:

1. Interaksi antara organisme, komunitas, dan populasi membentuk interaksi antara komponen biotik dan biotik. Netralitas, simbiosis mutualisme, simbiosis komensalisme, simbiosis parasitisme, dan predasi merupakan contoh interaksi antar organisme, sedangkan alelopati merupakan salah satu bentuk interaksi antar populasi.

a. Netralisme

Hubungan antar organisme yang tidak saling mengganggu, kedua belah pihak tidak diuntungkan dan dirugikan. Cacing dan lebah yang terdapat di dalam taman, keduanya tidak saling berinteraksi karena jenis makanan yang berbeda.

b. Simbiosis Mutualisme

Simbiosis mutualisme yaitu interaksi yang terjadi antar jenis makhluk hidup yang menguntungkan kedua jenis makhluk hidup (Campbell, 2008). Simbiosis mutualisme dibedakan menjadi dua yaitu mutualisme fakultatif dan obligat. Mutualisme fakultatif yaitu interaksi mutualisme dimana organisme dapat bertahan hidup meskipun tanpa organisme lainnya, tetapi menguntungkan bagi keduanya untuk tetap bersama-sama. Contoh mutualisme fakultatif adalah ikan badut dan anemon. Ikan badut menjadikan

anemon hewan laut seperti bunga yang memiliki tentakel yang menyengat untuk melindunginya dari predator. Ikan badut menjaga anemon bebas dari parasit dan memberikan nutrisi untuk anemon melalui kotoran mereka. Mutualisme obligat yaitu interaksi mutualisme di mana organisme yang satu membutuhkan organisme yang lain, jika tidak hidup bersama maka salah satu organisme akan mengalami kerugian (Boucher, 1985). Contoh mutualisme obligat adalah hubungan antara semut dan tanaman acacia. Semut menggunakan rongga-rongga pada tangkai acacia sebagai sarang, dan semut melindungi tanaman acacia dari hewan-hewan yang menyukai daun acacia.

c. Simbiosis Komensalisme

Hubungan di mana satu makhluk hidup diuntungkan sedangkan makhluk hidup lainnya tidak diuntungkan dan tidak dirugikan. Contohnya Ikan hiu dan remora, ketika ikan hiu mendapatkan makanan, sisa-sisa makanan yang dimakan ikan hiu akan dimakan oleh ikan remora, ikan remora mendapatkan makanan sebagai keuntungannya, sedangkan ikan hiu tidak mendapat keuntungan dan tidak mendapat kerugian saat sisa-sisa makanannya dimakan ikan remora.

d. Simbiosis Parasitisme

Hubungan antar makhluk hidup dimana salah satu pihak mendapat keuntungan dan pihak lainnya mendapat kerugian. Contohnya benalu yang hidup pada tumbuhan mangga, benalu yang menempel pada tumbuhan mangga akan menyerap nutrisi tumbuhan mangga, akibatnya benalu akan berkembang semakin banyak dan tumbuhan mangga akan mengalami kerugian bahkan menimbulkan kematian (Sulityanto, 2008).

e. Predasi

Pada predasi akan terjadi interaksi di mana predator memakan mangsanya (Roy et al., 2017). Contoh predasi adalah singa memangsa rusa.

f. Kompetisi

Kompetisi adalah salah satu bentuk interaksi dalam suatu ekosistem dimana suatu individu atau populasi bersaing mendapatkan kebutuhan hidup yang sama. Contoh kompetisi antar populasi hewan yaitu kambing dan sapi yang memakan rumput di wilayah yang sama atau harimau dan singa dalam berburu mangsa yang sama (Nurhamiyawan et al., 2013)

g. Alelopati

Suatu keadaan yang ada dalam ekosistem dan banyak terjadi pada komoditi tanaman, yaitu mekanisme dari gulma yang menghambat pertumbuhan dan produksi suatu tanaman sebagai akibat adanya kompetisi maupun senyawa alelokimia yang terdapat pada gulma tersebut (Rao, 1983).

2. Interaksi antar komponen biotik dan abiotik

Interaksi yang terjadi antar organisme dengan lingkungan. Interaksi ini menyebabkan terjadinya aliran energi dalam ekosistem tersebut, misalnya rantai makanan, jaring-jaring makanan, dan piramida makanan.

a. Rantai makanan

Proses makan dan dimakan antar makhluk hidup disebut dengan rantai makanan. Gambar 5.1 adalah contoh rantai makanan, proses yang terjadi yaitu sayuran sebagai produsen akan dimakan ulat, ulat dimakan burung, burung sebagai konsumen tingkat II akan dimakan kucing, kucing akan mengalami kematian dan diuraikan oleh bakteri.



Gambar 4.1. Rantai Makanan
(Sumber: www.ruangbiologi.co.id)

b. Jaring-jaring makanan

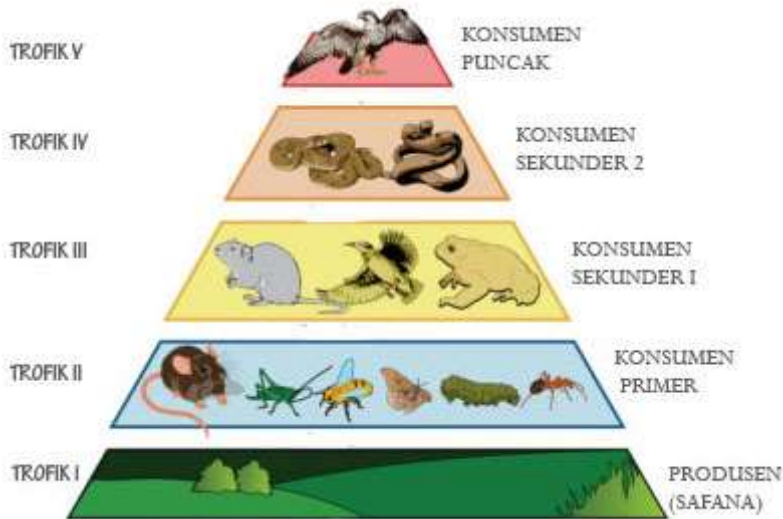
Jaring-jaring makanan adalah kumpulan rantai makanan, artinya satu jenis makhluk hidup tidak hanya dimakan oleh satu jenis makhluk hidup, dapat lebih dari satu jenis. Perhatikan gambar jaring-jaring makanan di bawah ini.



Gambar 4.2. Jaring-jaring Makanan
(Sumber: informazone.com)

c. Piramida Makanan

Piramida makanan adalah gambaran yang menampilkan data pengelompokan ekosistem dengan melihat komposisi dan biomassa. Hal tersebut tergambar pada tingkatan trofik dalam piramida makanan. Tingkatan trofik tersebut terdiri atas: tingkatan trofik I yang meliputi produsen, tingkatan trofik II yang meliputi konsumen primer, tingkatan trofik III yang meliputi konsumen sekunder I, tingkatan trofik IV yang meliputi konsumen sekunder 2, dan trovik tingkatan trofik V yang meliputi konsumen puncak.



Gambar 4.3. Piramida makanan
(Sumber: dosenbiologi.com)

4.2.3 Macam-macam Ekosistem

Macam-macam ekosistem terdiri dari ekosistem alami (darat dan air) dan buatan.

1. Ekosistem Darat

Ekosistem yang interaksi antar makhluk hidup dan lingkungannya terjadi di daratan. Jenis ekosistem darat adalah sebagai berikut:

- a. Hutan hujan tropis
Hutan hujan tropis terdapat di daerah beriklim tropis dan subtropis. Daerah ini menerima curah hujan 220-225 cm setiap tahunnya, dan kelembapan rata-rata 80 persen. Di hutan ini terdapat berbagai jenis satwa dan tumbuhan, seperti rotan, anggrek, kera, burung, harimau dan lain-lain.
- b. Taiga
Pegunungan di daerah tropis dan Belahan Bumi Utara adalah tempat taiga ditemukan. Ciri khasnya yaitu suhu di musim dingin rendah dan berlangsung cukup panjang, sedang musim panas yang tidak lama sekitar satu hingga tiga bulan. Pinus, konifer, dan spesies serupa lainnya biasanya merupakan spesies di taiga. Semak dan tumbuh-tumbuhan basah sangat sedikit, jenis hewan yang terdapat di Taiga adalah beruang liar, rusa besar, dan lainnya.
- c. Padang rumput
Padang rumput ditemukan di daerah tropis dan subtropis dengan curah hujan rendah sekitar 25-30 cm setiap tahunnya. Hujan turun tidak menentu, resapan air yang tinggi, aliran air deras. Keadaan tersebut menyebabkan jenis tanaman yang berkembang jenis rumput dan herba. Jenis hewan yang mendiami wilayah tersebut adalah bison, singa, zebra, ular, dan lainnya.
- d. Sabana
Sabana dikenal sebagai padang rumput yang luas, namun terdapat beberapa jenis pepohonan yang letaknya berjauhan. Sabana banyak ditemukan di daerah tropis dengan curah hujan 100-152 cm setiap tahunnya. Sabana terluas di dunia ada di Afrika dengan jenis hewannya seperti serangga, zebra, singa, dan hyena.
- e. Hutan gugur
Hutan gugur ditemukan di lingkungan yang memiliki empat musim. Pepohonannya tidak banyak dan tidak lebat, daunnya lebar, memiliki curah hujan rendah, Jenis

hewan yang ada di hutan ini antara lain beruang, rusa, rubah, tupai, dan lain-lain.

f. Tundra

Tundra ditemukan di belahan bumi utara, kutub utara, dan titik tertinggi pegunungan tinggi. Suhu di lingkungan tundra rendah dan pertumbuhan pohon terhambat. Ciri khasnya adalah komponen biotiknya menyesuaikan diri dengan suhu dingin, bahkan perkembangan tanaman hanya bertahan 60 hari. *Sphagnum*, tanaman herba, rumput alang-alang adalah jenis tumbuhan yang hidup di ekosistem tundra.

g. Gurun

Gurun memiliki iklim yang kering dan hanya menerima curah hujan 25 cm setiap tahunnya. Perbedaan suhu antar siang dan malam terlihat besar. Tanaman yang berakar panjang dan berduri dapat menyerap dan menyimpan air di ekosistem gurun. Ular, kadal, hewan pengerat menghuni ekosistem gurun.

h. Karst

Karst merupakan kawasan batu kapur yang kondisi tanahnya tidak mendukung pertanian, rentan terhadap erosi, mudah longsor, pori-pori aerasinya buruk, dan permeabilisasinya lambat. Dengan beragam keistimewaan biotik yang tidak terdapat pada ekosistem lain, menjadikan ekosistem ini memiliki kekhasan.

2. Ekosistem Air

Ekosistem yang terjadi interaksi antar komponen biotik dan abiotik di perairan. Jenis ekosistem air adalah sebagai berikut:

a. Ekosistem air tawar

Sinar matahari sulit menembus perairan pada ekosistem ini sehingga sebagian besar suhu di perairan tawar dipengaruhi oleh iklim dan cuaca. Mayoritas tumbuhan yang hidup pada ekosistem ini adalah alga, sedangkan sebagian lainnya merupakan tumbuhan berbiji. Selain itu, hampir semua filum hewan umumnya beradaptasi dengan baik untuk hidup di air tawar.

- b. Ekosistem air laut
Konsentrasi klorida (Cl^-) di habitat laut dapat mencapai 55-75% yang menunjukkan tingginya kadar garam dan salinitas. Daerah termoklin merupakan batas yang memisahkan suhu atas dan bawah laut tropis yang bersuhu sekitar 25°C .
- c. Ekosistem sungai
Sungai adalah rumah bagi tumbuhan air dan hewan - hewan air, karena ekosistemnya memiliki air yang jernih dan dingin, bersedimen, dan mengandung banyak senyawa - senyawa lainnya seperti CO_2 , SO_2 , SO_3 . Airnya yang mengalir dan bergelombang memberikan banyak Oksigen. Ketinggian dan garis lintang sungai juga mempengaruhi suhu air.
- d. Ekosistem Estuari
Lempengan lumpur intertidal atau rawa yang mengandung garam sering kali menutupi area pertemuan sungai dengan laut, membentuk estuari atau muara. Makhluk hidup perairan yang berukuran kecil hidup di ekosistem ini, yang memiliki tingkat produktivitas dan tingkat nutrisi yang tinggi.
- e. Ekosistem Pantai
Tanaman *Ipomoea pes caprae* yang tumbuh di pasir yang berbukit mengatur ekosistem ini. Selain itu, tanaman ini tahan terhadap gelombang dan angin. Ekosistem pesisir dapat berfungsi sebagai habitat burung, kerang, dan penyu serta lingkungan bagi ekosistem lainnya.
- f. Ekosistem lamun
Lamun terdapat pada perairan pantai dangkal. Lamun seperti tumbuhan darat yaitu berbunga, menghasilkan buah, menghasilkan biji, dan bahkan dapat berfotosintesis.
- g. Ekosistem terumbu karang
Ekosistem yang didominasi karang ini sangat produktif. 25% makhluk hidup laut seperti bintang laut, teripang yang mengonsumsi sisa-sisa organik dan

mikroorganisme menjadikan terumbu karang sebagai rumah mereka.

h. Ekosistem Laut dalam

Ekosistem laut dalam terdapat pada kedalaman laut lebih dari 6.000 meter, tidak dapat diakses oleh sinar matahari. Pada ekosistem laut dalam meskipun sulit ditembus oleh cahaya, beberapa komponen biotik seperti ikan lele dan *anglerfish* yang menghasilkan listrik dan cahaya di laut dalam.

3. Ekosistem buatan

Ekosistem yang diciptakan manusia untuk memenuhi kebutuhannya disebut ekosistem buatan. Ekosistem ini memiliki keanekaragaman yang rendah, menerima subsidi energi eksternal, dan didominasi oleh tumbuhan atau hewan peliharaan.

4.3 Lingkungan

Para ahli mendefinisikan lingkungan sebagai berikut:

1. St. Munadjat Danusaputro

Segala sesuatu yang ada di ruang tempat tinggal manusia, benda dan kondisi yang berdampak pada kesejahteraan dan kelangsungan hidup makhluk hidup serta mikroorganisme lainnya disebut lingkungan.

2. Otto Soemarwoto

Lingkungan adalah sebagai gabungan dari semua hal dan kondisi di suatu tempat di mana orang-orang hidup dan berinteraksi satu sama lain. Dalam istilah awam, konsep lingkungan atau lingkungan hidup menurut Otto Soemarwoto mencakup segala sesuatu pada semua makhluk hidup yang memiliki pengaruh besar pada kehidupannya.

3. Sambas Wirakusumah

Segala sesuatu yang berada di sekeliling manusia dianggap sebagai bagian dari lingkungan. Aspek ini mencakup ilmu lingkungan hidup sebagai suatu bidang yang mempelajari lingkungan hidup makhluk hidup dan unsur-unsur biologi secara eksternal yang ada pada makhluk hidup.

4. Emil Salim

Segala sesuatu yang ada dalam suatu tempat yang ditempati, termasuk objek, keadaan, serta kondisinya disebut lingkungan. Lingkungan memberikan dampak pada kehidupan makhluk hidup.

4.3.1 Jenis lingkungan

Berdasarkan proses terbentuknya, lingkungan dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Lingkungan alami

Lingkungan alami yaitu lingkungan yang berkembang secara alami tanpa campur tangan manusia. Contohnya gunung, rawa, sungai, hutan hujan tropis, dan lain sebagainya.

2. Lingkungan buatan

Lingkungan buatan adalah lingkungan yang dibuat oleh manusia dengan tujuan tertentu. Misalnya bendungan, perkebunan, taman bunga, sawah, taman buah, danau, kolam.

4.3.2 Manfaat Lingkungan

Lingkungan memiliki berbagai macam manfaat, antara lain:

1. Lingkungan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi, misalnya penggunaan matahari sebagai pembangkit tenaga listrik;
2. Lingkungan sebagai tempat tinggal dan berkembang biak makhluk hidup;
3. Lingkungan sebagai sara penghasil kebutuhan sandang, pangan dan papan;
4. Lingkungan sebagai pembentuk ekosistem, yang didalamnya terdapat flora dan fauna serta komponen abiotik;
5. Lingkungan sebagai sumber mineral yang menjaga kelangsungan makhluk hidup.

DAFTAR PUSTAKA

- Campbell, N.A, J.B. Reece. 2010. *Biologi, edisi kedelapan jilid 3*
Terjemahan: Damaring Tyas Wulandari. Jakarta: Erlangga.
- Fitter, A.H dan R.K.M. Hay. 1994. *Fisiologi Lingkungan Tanaman*.
Bogor: Program Pasca sarjana bogor IPB.
- Hairiah kurniatun *et al.* 2016, perubahan iklim. Bogor: world
Agroforestry centre (ICRAF).
- Nurhamiyawan, E. N. L., Prihandono, & Helmi. 2013. *Analisis
Dinamika Model Kompetisi Dua Populasi yang Hidup
Bersama di Titik Keseimbangan Tidak Terdefinisi*.
Bimaster: Buletin Ilmiah Matematika Statistika dan
Terapannya. 2(3), 197-204. [https://jurnal.untan.ac.id/
index.php/jbmstr/article/view/3868](https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jbmstr/article/view/3868).
- Otto Soemarwoto. 2001. *Atur Diri Sendiri, Paradigma Baru
Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Yogyakarta: Gadjah Mada
University Press.
- Rao, V. 1983. *Principle of weed science* oxford and ibh publihing
CO. New Delhi: Bombay Calcutta.
- Roy, B., Roy, S. K., & Gurung, D. B. 2017. Holling– Tanner Model
With Beddington–DeAngelis Functional Response and
Time Delay Introducing Harvesting. IMACS: Mathematics
and Computers in Simulation, 142, 1-14.
<https://doi.org/10.1016/j.matcom.2017.03.010>.
- Setiadi. Y 1983. *Pengertian dasar tentang konsep ekosistem*. Bogor:
Fakultas kehutanan IPB.
- Sulistyanto Heri. 2008. *Ilmu Pengetahuan Alam*. Jakarta: Pusat
Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.

BAB 5

EVOLUSI DAN ADAPTASI

Isna Arofatur Nikmah

5.1 Evolusi

Kata evolusi berasal dari bahasa Latin “evolvere”, yang berarti “mengungkap atau membuka”. Seiring berkembangnya pengetahuan, evolusi diartikan sebagai “perubahan”. Perubahan yang dimaksud adalah perubahan pada ciri-ciri yang dimiliki oleh suatu populasi yang terjadi selama beberapa generasi. Definisi ini berbeda dengan perubahan yang terjadi pada individu selama mengalami perkembangan atau yang disebut “ontogeni”, sehingga ontogeni tidak dapat disebut berevolusi. Perubahan yang terjadi pada populasi ini selanjutnya diturunkan pada generasinya dengan modifikasi. Perubahan dalam populasi yang dianggap evolusioner adalah perubahan yang diwariskan melalui materi genetik (Köse & Keskin, 2015).

Charles Darwin adalah tokoh yang terkenal dalam perkembangan teori evolusi. Teori Darwin yang terkenal adalah hipotesis tentang organisme yang diturunkan dengan modifikasi dari nenek moyang yang sama (*descent with modification*); serta teori seleksi alam (*natural selection*) yang menyebabkan variasi-variasi yang diturunkan. Kedua hipotesis ini selanjutnya mendorong pemikiran-pemikiran tentang evolusi (Darwin, 2010).

5.1.1 Evolusi Sebelum Masa Darwin

Pada abad ke-18 banyak pemikiran tentang penciptaan bumi dipengaruhi oleh ajaran dari gereja yaitu segala sesuatu diciptakan oleh Tuhan yang berasal dari penafsiran Alkitab. Usia bumi dianggap relatif muda dan diciptakan dalam waktu singkat berdasarkan penafsiran dari Perjanjian Lama. Namun pada saat itu banyak ilmuwan yang mengemukakan teorinya yang tidak sejalan dengan gereja (Tessera, 2018; Zampieri, 2009).

Sebelum Darwin mengemukakan teorinya, telah berkembang teori-teori lain yang memengaruhi pemikirannya. Pada akhir abad ke-18, **Carolus Linnaeus** (1707-1778), seorang Naturalis dan dokter Swedia mencetuskan kerangka taksonomi biologis yang saat ini masih banyak digunakan dalam pembelajaran. Linnaeus mengelompokkan jenis yang berkerabat ke dalam satu marga, marga yang berkerabat ke dalam satu bangsa, dan seterusnya. Linnaeus juga mengemukakan bahwa untuk mengenali, menggambarkan, menamai, dan mengelompokkan marga dan jenis tumbuhan dan hewan secara ilmiah perlu sistem yang sederhana yaitu sistem penamaan dua kata atau yang dikenal binomial nomenclature. Linnaeus menuliskan gagasannya pada bukunya "Species Plantarum (1 Mei 1753)". Linnaeus mendokumentasikan semua jenis tanaman yang dikenali. Sejak saat itu nama-nama tumbuhan menggunakan sistem binom.

Selain itu, ahli geologi **James Hutton** (1726-1797) juga berkontribusi terhadap perkembangan teori evolusi. Hutton di dalam bukunya "Investigation of the Principles of Knowledge (1794)" menjelaskan prinsip uniformitarianisme dimana proses perubahan yang terjadi pada bumi berjalan lambat. Hutton juga mengemukakan bahwa ketika lingkungan mengalami perubahan maka individu-individu yang dapat bertahan adalah yang memiliki adaptasi paling baik, sedangkan yang tidak dapat beradaptasi akan punah. Secara tidak langsung, Hutton telah menjelaskan adanya seleksi alam, meskipun istilah seleksi alam belum dikenal dan tidak digunakan olehnya.

Seorang ahli geologi berkebangsaan Inggris, **Charles Lyell** (1797-1875) menemukan bahwa bumi mengalami perubahan yang bertahap sejalan dengan penemuannya tentang peristiwa naik turunnya permukaan laut, adanya pegunungan yang dibangun dari gempa bumi dan letusan gunung berapi, serta lembah-lembah yang dihasilkan dari angin yang besar dan pergerakan air yang lambat. Penjelasan Lyell tentang perubahan bumi ini sejalan dengan teori uniformitarianisme dan mendukung gagasan dari Hutton. Gagasan-gagasan Hutton dan Lyell ini yang nantinya mempengaruhi pemikiran Darwin tentang evolusi terutama "*descent with*

modification” dimana perubahan terjadi sangat lambat dan dalam waktu yang lama (Dongen & Vossen, 1984).

Pada abad ke-18 juga ada beberapa filsuf dan ilmuwan Prancis yang memiliki pemikiran bahwa organisme ada secara alami. **Chevalier de Lamarck** dalam karyanya “*Philosophie Zoologique*” mengemukakan bahwa makhluk hidup terjadi secara spontan kemudian akan berbeda-beda karena adanya penyebab alam yang cenderung membuat makhluk hidup menjadi semakin kompleks dan beragam. Lamarck menjelaskan bahwa hewan akan memberikan respon yang berbeda terhadap lingkungan. Organ yang lebih banyak digunakan akan lebih kuat daripada organ yang tidak sering digunakan untuk merespon terhadap perubahan lingkungan. Akibatnya akan ada karakter baru yang selanjutnya diwariskan pada keturunannya apabila terjadi reproduksi secara seksual dari parental yang memiliki karakter yang sama. Prinsip ini disebut dengan “*inheritance of acquired characteristics*” atau pewarisan karakter yang diperoleh. Menurut Lamarck, apabila perubahan kecil ini terakumulasi dalam waktu yang lama maka akan menghasilkan perbedaan yang besar. Teori Lamarck ini selanjutnya disebut dengan Lamarckisme. Lamarck menyontohkan jerapah, ular, bangau, angsa, dan banyak hewan lainnya untuk menjelaskan teorinya. Leher jerapah adalah contoh yang terkenal untuk Lamarckisme. Jerapah akan meregangkan lehernya mengambil dedaunan di pohon yang tinggi sehingga lama kelamaan leher jerapah akan memanjang. Menurut Lamarck, peristiwa ini terjadi karena secara fisiologi tubuh merespon lingkungan melalui persarafan. Leher panjang adalah karakter baru yang akan terus diwariskan dari generasi ke generasi (Ereshefsky, 2011).

5.1.2 Teori Evolusi Darwin

Pemikiran Darwin tentang evolusi dimulai sejak Pelayaran Beagle dari 27 Desember 1831 hingga 2 Oktober 1836. Dalam perjalanannya, Darwin mempelajari hutan hujan Brasil dan pampas Argentina, hingga berakhir di Kepulauan Galápagos, yang terletak di ekuator di lepas pantai Ekuador. Darwin juga mengumpulkan spesimen, mengamati geologi dan makhluk hidup di tempat yang dijelajahi. Setelah kembali, Darwin menunjukkan spesimen

“mockingbird” yang ia dapatkan dari Kepulauan Galápagos kepada John Gould yang seorang ornitologis. Gould menjelaskan bahwa burung mockingbird di setiap pulau di Kepulauan Galápagos merupakan jenis yang berbeda. Darwin kemudian menyadari bahwa kura-kura raksasa (*Chelonoidis nigra*) yang menghuni pulau satu dengan pulau lainnya juga menunjukkan perbedaan. Oleh karena adanya kesamaan antara fosil mamalia dan jenis mamalia yang masih hidup, Darwin beranggapan bahwa spesies berevolusi dari nenek moyang yang sama (Sober & Wilson, 2011).

Pada tahun 1830-an, Darwin mempelajari gagasan dari **Thomas Malthus** dalam karyanya “*An essay in the principle of population as it affects the future improvement of society*” tentang laju pertumbuhan populasi manusia. Malthus menyatakan bahwa laju pertumbuhan populasi manusia lebih besar dengan laju ketersediaan sumber pangan. Akibatnya, terjadi banyak terjadi kelaparan. Tulisan Malthus mempengaruhi pemikiran Darwin tentang adanya proses seleksi alam. Menurut Darwin, tidak semua individu yang lahir akan dapat bertahan hidup. Individu yang dapat melangsungkan hidupnya adalah individu-individu dengan ciri-ciri unggul yang dapat digunakan untuk bertahan terhadap cekaman lingkungan (Marciano, 2009).

Selain Malthus, **Alfred Russel Wallace** (1823–1913) juga berpengaruh terhadap pemikiran Darwin tentang evolusi, bahkan sebenarnya Wallace lebih dahulu menyadari tentang seleksi alam dan evolusi. Wallace melakukan penjelajahan dan mengumpulkan spesimen dari Kepulauan Melayu (sekarang Malaysia dan Indonesia) mulai tahun 1854. Selama delapan tahun penjelajahannya, Wallace mengumpulkan 125.660 spesimen dari sekitar 5.000 spesies yang menjadi informasi baru bagi ilmu pengetahuan di negara barat. Wallace menemukan pola distribusi hewan. Wallace kemudian mengusulkan garis imajiner yang sekarang disebut garis Wallace. Garis Wallace membagi wilayah persebaran hewan menjadi dua bagian yaitu wilayah Australia dan Asia (Bock, 2009).

Pada tahun 1858, Wallace menyadari tentang adanya evolusi suatu spesies. Individu-individu berubah dari generasi ke generasi yang disebabkan adanya perbedaan kemampuan bertahan dan

bereproduksi, selanjutnya mereka mewariskan karakter menguntungkan ke keturunannya. Wallace kemudian menulis penemuannya ini dan mengirimkan kepada kawannya yaitu Charles Darwin. Wallace memberikan kontribusi yang penting untuk biologi dan perkembangan teori evolusi, terutama tentang biogeografi dan distribusi geografis spesies. Akhirnya pada tahun 1859, Darwin menuliskan hasil pemikirannya yang berjudul "*On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or The Preservation of Favored Races in the Struggle for Life*" (Antonovics, 1976).

Darwin memberikan dua teori utama dalam bukunya. Teori yang pertama adalah tentang keturunan dengan modifikasi (***descent with modification***). Keturunan yang dimaksud adalah mengacu pada proses pewarisan sifat dari generasi sebelumnya. Sedangkan modifikasi yang dimaksud adalah mengacu pada konsep bahwa saat karakter ini diwariskan, karakter tersebut dapat dimodifikasi atau berubah. Darwin mengamati bahwa banyak organisme yang terlihat sangat mirip, namun tidak sama. Di dalam populasi organisme yang sama juga ditemui adanya variasi antar individu, sehingga Darwin menyimpulkan bahwa perbedaan ini muncul pada keturunan dengan ada modifikasi dari generasi ke generasi. Teori evolusi ini menyatakan bahwa spesies-spesies yang berasal dari nenek moyang yang sama akan memiliki kemiripan ciri satu dengan lainnya. Semakin lama spesies-spesies akan berbeda antara satu dengan lainnya. Konsep evolusi ini jelas berbeda dari teori Lamarck yang tidak melibatkan adanya penurunan karakter dari nenek moyang (Holloway et al., 2007).

Teori kedua Darwin adalah seleksi alam (***natural selection***). Darwin berpendapat bahwa seleksi alam adalah penyebab adanya variasi dan evolusi. Individu dalam suatu populasi dapat bervariasi secara alami. Variasi ini timbul karena individu-individu memiliki sifat yang lebih baik daripada yang lain dalam menanggapi perubahan lingkungan. Individu-individu dengan sifat yang menguntungkan (sifat adaptif) akan lebih baik dalam bertahan hidup dan bereproduksi. Individu-individu ini kemudian mewariskan sifat-sifat adaptif kepada keturunannya. Seiring waktu, sifat-sifat menguntungkan ini akan lebih sering ditemui dalam populasi. Melalui proses seleksi alam ini, sifat-sifat yang

menguntungkan akan diwariskan dari generasi ke generasi. Seleksi alam dapat menyebabkan spesiasi, yaitu kemunculan spesies baru dan berbeda. Proses ini mendorong evolusi dan membantu menjelaskan keragaman hayati di Bumi (Schluter et al., 2010).

5.1.3 Teori Evolusi Setelah Darwin

Biologi evolusi terus berkembang dengan pesat setelah masa Charles Darwin. Teori evolusi Darwin melalui seleksi alam meletakkan dasar tentang bagaimana spesies berubah dari waktu ke waktu. Penemuan ilmiah, kemajuan teknologi, dan perkembangan teoretis telah memperluas dan menyempurnakan pengetahuan tentang proses evolusi (Barton & Partridge, 2000). Berikut adalah beberapa perkembangan penting dalam pemahaman evolusi setelah Darwin:

- 1. Genetika Mendel dan Sintesis Modern:** Pada awal abad ke-20, penemuan Gregor Mendel tentang genetika telah menyediakan kerangka kerja untuk memahami bagaimana sifat diwariskan. Pengetahuan ini menyebabkan adanya integrasi antara genetika dengan evolusi Darwin dan menghasilkan perkembangan Sintesis Modern, yang juga dikenal sebagai Sintesis Neo-Darwinian. Sintesis ini menggabungkan seleksi alam dengan genetika Mendel sehingga memberikan penjelasan yang lebih komprehensif tentang bagaimana variasi muncul dan diwariskan dalam populasi (Gawne et al., 2017).
- 2. Genetika Populasi:** Genetika populasi muncul sebagai bidang ilmu yang mempelajari bagaimana variasi genetik berubah dalam populasi dari waktu ke waktu karena faktor-faktor seperti mutasi, seleksi alam, pergeseran genetik, dan aliran gen. Genetika populasi membantu dalam memahami mekanisme yang mendasari perubahan evolusi pada tingkat genetik (Kingsolver & Diamond, 2011).
- 3. Evolusi Molekuler:** Kemajuan dalam biologi molekuler dan genetika telah memungkinkan para ilmuwan untuk mempelajari hubungan evolusi pada tingkat molekuler. Teknik seperti sekuensing DNA dan genomik komparatif telah memberikan wawasan tentang perubahan genetik yang

terjadi dalam jangka waktu yang lama dan hubungannya dengan evolusi spesies.

4. **Teori evolusi molekuler netral:** Teori ini diusulkan oleh Motoo Kimura pada tahun 1960-an. Gagasan ini menunjukkan bahwa sebagian besar perubahan genetik disebabkan oleh penyimpangan genetik daripada seleksi alam. Teori ini menjelaskan peran mutasi netral dalam evolusi keragaman genetik (Kern & Hahn, 2018).
5. ***Evolutionary Developmental Biology (Evo-Devo)*:** Bidang ini mempelajari hubungan antara perubahan genetik dan perkembangan ciri anatomi serta menjelaskan bagaimana perubahan evolusioner dapat terjadi melalui perubahan jalur perkembangan. Evo-Devo mengarah pada pemahaman tentang bagaimana sifat-sifat baru dapat berkembang.
6. **Koevolusi:** Studi koevolusi berfokus pada perubahan evolusioner timbal balik yang terjadi pada dua atau lebih spesies yang berinteraksi erat satu sama lain. Koevolusi dapat mencakup interaksi predator-mangsa, hubungan inang-parasit, dan hubungan mutualistik. Dinamika koevolusi telah membentuk diversifikasi banyak spesies.
7. **Ekologi Evolusioner:** Bidang interdisipliner ini mempelajari bagaimana interaksi ekologis memengaruhi evolusi spesies. Bidang ini meneliti bagaimana seleksi alam bekerja dalam konteks ekologi dan bagaimana organisme beradaptasi dengan lingkungannya.
8. **Genomik Evolusioner:** Kemajuan dalam teknologi sekuensing genom telah memungkinkan para peneliti untuk mempelajari dasar genetik dari adaptasi dan spesiasi secara lebih mendetail. Genomik komparatif memberikan wawasan tentang perubahan genetik yang mendasari diversifikasi spesies (Holloway et al., 2007).
9. **Epigenetik dan Evolusi:** Epigenetik mempelajari perubahan dalam ekspresi gen yang tidak melibatkan perubahan dalam urutan DNA. Para peneliti saat ini sedang banyak mempelajari bagaimana modifikasi epigenetik dapat memengaruhi proses evolusi dan berpotensi diwariskan dari generasi ke generasi (Portela & Esteller, 2010).

10. Evolusi Perilaku: Studi jangka panjang tentang populasi alami, seperti studi tentang burung *finch* di Galápagos oleh Peter dan Rosemary Grant, telah memberikan bukti empiris tentang evolusi yang terjadi dalam rentang waktu yang relatif singkat. Studi-studi ini berperan dalam mengamati dan mendokumentasikan perubahan evolusioner secara *real-time* (Marciano, 2009).

Biologi evolusi setelah masa Darwin berkembang menjadi bidang multidisiplin yang menggabungkan genetika, genomik, ekologi, biologi perkembangan, dan bidang lain untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang mekanisme yang mendorong keragaman kehidupan di Bumi. Meskipun gagasan asli Darwin tetap menjadi landasan, penelitian-penelitian setelah masa Darwin juga memperkaya dan memperluas pengetahuan tentang proses evolusi.

5.2 Adaptasi

Adaptasi mengacu pada proses di mana organisme mengembangkan sifat atau karakteristik tertentu yang meningkatkan kemampuan mereka untuk bertahan hidup dan bereproduksi di lingkungannya. Ciri-ciri ini merupakan hasil seleksi alam yang mempengaruhi variasi genetik dalam suatu populasi. Adaptasi meningkatkan kebugaran organisme dengan meningkatkan peluangnya untuk berhasil mengatasi cekaman dan memanfaatkan peluang yang ada di lingkungannya (Lamm & Kolodny, 2022). Perubahan yang terjadi dapat mencakup perubahan sifat fisik, perilaku, atau sifat fisiologis sebagai respon terhadap perubahan lingkungan (Carroll, 2008; Schluter et al., 2010). Seiring berjalannya waktu, sifat-sifat menguntungkan ini menjadi lebih umum pada suatu populasi, sehingga menyebabkan populasi beradaptasi terhadap lingkungannya. Proses ini dapat menyebabkan munculnya spesies baru dalam jangka waktu yang lama. Adaptasi dapat melibatkan berbagai mekanisme, antara lain:

1. Perubahan sifat fisik: Organisme dapat mengembangkan ciri fisik yang memungkinkan mereka memanfaatkan lingkungannya dengan lebih baik.

2. Perubahan perilaku: Hewan dapat mengembangkan perilaku baru untuk meningkatkan peluang kelangsungan hidupnya. Misalnya, beberapa spesies burung bermigrasi ribuan mil untuk mencari makanan yang lebih baik dan peluang bersarang.
3. Perubahan fisiologis: Perubahan fungsi internal organisme, seperti proses metabolisme, juga dapat berperan dalam adaptasi. Misalnya, spesies ikan tertentu mengembangkan mekanisme khusus untuk bertahan hidup dalam kondisi ekstrem seperti lingkungan laut dalam.
4. Perubahan genetik: Evolusi terjadi melalui perubahan materi genetik suatu organisme dari generasi ke generasi. Mutasi, rekombinasi genetik, dan proses genetik lainnya menghasilkan sifat-sifat baru yang dapat diwariskan kepada keturunannya.

5.2.1 Jenis-jenis Adaptasi

Adaptasi dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis berdasarkan fungsi, asal usul, dan mekanisme yang mendorongnya. Berikut beberapa jenis adaptasi yang umum:

1. **Adaptasi morfologi:** adaptasi morfologi mencakup perubahan ciri atau struktur fisik untuk membantu organisme bertahan hidup di lingkungannya. Adaptasi morfologi meliputi:
 - a. Kamufase: Pewarnaan atau pola yang memungkinkan organisme menyerupai lingkungan sekitarnya, sehingga sulit dikenali oleh predator atau mangsa.
 - b. Mimikri: Menyerupai organisme atau objek lain untuk mendapatkan perlindungan atau menipu predator atau mangsa. Mimikri terbagi menjadi mimikri Batesian (spesies tidak berbahaya yang meniru spesies beracun) dan mimikri Müllerian (beberapa spesies beracun berevolusi dengan penampilan serupa).
 - c. Modifikasi morfologi: Bagian atau struktur tubuh khusus yang memungkinkan fungsi tertentu, seperti bentuk paruh burung yang disesuaikan dengan kebiasaan makan atau duri kaktus untuk konservasi air.

- 2. Adaptasi fisiologi:** adaptasi fisiologi adalah penyesuaian fungsi dalam tubuh organisme yang memungkinkan organisme tersebut mengatasi kondisi lingkungan tertentu. Adaptasi fisiologi meliputi:
- a. Termoregulasi: Kemampuan mengatur suhu tubuh sebagai respons terhadap perubahan kondisi lingkungan, seperti yang terlihat pada hewan berdarah panas.
 - b. Hibernasi: Keadaan berkurangnya aktivitas metabolisme selama periode suhu sangat dingin atau ketersediaan makanan rendah, sehingga hewan dapat menghemat energi.
 - c. Estivasi: Mirip dengan hibernasi, tetapi terjadi selama periode panas ekstrem atau kekeringan untuk menghindari kekeringan.
- 3. Adaptasi perilaku:** adaptasi perilaku adalah tindakan atau perilaku yang ditunjukkan organisme untuk meningkatkan peluang kelangsungan hidup dan reproduksinya. Contoh adaptasi perilaku antara lain:
- a. Migrasi: Perpindahan hewan secara musiman dari satu wilayah ke wilayah lain untuk mencari sumber daya yang lebih baik, seperti makanan dan tempat berkembang biak.
 - b. Perilaku teritorial: Mempertahankan wilayah tertentu untuk akses terhadap sumber daya atau menarik pasangan.
 - c. Ritual kawin: Perilaku atau penampilan yang menarik calon pasangan dan memastikan keberhasilan reproduksi.
- 4. Adaptasi Fungsional:** Adaptasi ini melibatkan perubahan proses fisiologis atau biokimia organisme untuk memenuhi kondisi lingkungannya. Contohnya meliputi:
- a. Adaptasi enzim: Perubahan aktivitas enzim agar berfungsi optimal pada suhu atau tingkat pH tertentu.
 - b. Resistensi terhadap racun: Evolusi mekanisme untuk menoleransi atau mendetoksifikasi zat berbahaya yang ada di lingkungan.
- 5. Adaptasi reproduksi:** Adaptasi ini berkaitan dengan proses reproduksi dan peningkatan keberhasilan reproduksi suatu organisme. Contohnya meliputi:

- a. Waktu berbunga: Tanaman yang berbunga pada waktu tertentu bertepatan dengan ketersediaan penyerbuk atau kondisi yang menguntungkan bagi perkecambahan biji.
 - b. Pengasuhan: Perilaku yang ditunjukkan oleh orang tua untuk meningkatkan kelangsungan hidup dan perkembangan keturunannya, seperti melindungi telur atau menyediakan makanan.
- 6. Adaptasi genetik:** Adaptasi ini melibatkan perubahan susunan genetik suatu populasi dari waktu ke waktu. Contohnya meliputi:
- a. Mutasi genetik: Perubahan acak pada rangkaian DNA yang dapat menghasilkan sifat dan adaptasi baru.
 - b. Variasi genetik: Kehadiran berbagai sifat genetik dalam suatu populasi, memungkinkan terjadinya adaptasi terhadap perubahan lingkungan.
- 7. Adaptasi Ekologi:** Adaptasi ekologi mengacu pada sifat, perilaku, dan strategi spesifik yang dikembangkan organisme untuk bertahan hidup dan berkembang biak di relung atau lingkungan ekologi tertentu. Adaptasi ini membantu organisme memperoleh sumber daya, menghindari predator, dan berinteraksi secara efektif dengan spesies lain. Beberapa contoh adaptasi ekologi antara lain:
- a. Kamufase dan Mimikri: Kamufase dan mimikri dapat dikategorikan sebagai adaptasi ekologi. Keduanya merujuk pada strategi yang dimiliki sekelompok organisme untuk menghindari predator.
 - b. Crypsis: Crypsis mengacu pada kemampuan organisme untuk menghindari deteksi oleh predator atau mangsa. Crypsis mencakup strategi seperti tidak bergerak, bersembunyi, atau meminimalkan gerakan dan kebisingan. Misalnya, hewan seperti burung hantu dan ngengat. Burung hantu memiliki bulu atau bentuk tubuh khusus yang memungkinkan mereka menyatu dengan lingkungan sekitarnya dan tidak mudah terlihat oleh pemangsa.
 - c. Aposematisme: Beberapa organisme telah mengembangkan warna atau pola peringatan untuk menandakan toksisitas atau bahayanya terhadap calon

predator, tujuannya adalah agar predator belajar untuk menghindari menyerang mangsanya.

- d. Simbiosis: Banyak organisme telah mengembangkan adaptasi ekologis yang memungkinkan mereka membentuk hubungan yang saling menguntungkan dengan spesies lain. Contohnya adalah hubungan mutualistik antara penyerbuk dan tanaman berbunga.
- e. Migrasi: Migrasi musiman adalah adaptasi yang memungkinkan hewan berpindah ke lokasi geografis berbeda sebagai respons terhadap perubahan kondisi lingkungan, seperti suhu, ketersediaan makanan, atau peluang berkembang biak. Contoh spesies yang melakukan migrasi antara lain burung, paus, dan beberapa kelompok kupu-kupu.
- f. Spesialisasi Makanan: Spesies sering kali beradaptasi dengan pola makan tertentu berdasarkan ketersediaan sumber makanan di lingkungannya. Misalnya, herbivora telah mengembangkan sistem pencernaan khusus untuk memecah nutrisi, dan karnivora memiliki adaptasi untuk berburu dan mengonsumsi daging.
- g. Spesialisasi Khusus: Organisme beradaptasi dengan relung ekologi tertentu dalam habitatnya, memanfaatkan sumber daya atau kondisi unik. Burung *finch* di Kepulauan Galápagos berasal dari spesies yang berbeda-beda yang beradaptasi pada berbagai tempat berdasarkan bentuk paruh dan pola makannya.
- h. Strategi Reproduksi: Adaptasi reproduksi mencakup perilaku dan sifat yang berkaitan dengan perkawinan, reproduksi, dan pengasuhan oleh induknya. Contohnya adalah strategi untuk menarik pasangan.

5.2.2 Seleksi Alam

Seleksi alam adalah salah satu mekanisme kunci yang mendorong proses evolusi yang disebabkan oleh perbedaan *fitness* (kebugaran) di antara kelas entitas biologis yang berbeda. Kebugaran dapat didefinisikan sebagai jumlah keturunan yang dihasilkan pada generasi berikutnya yang mampu bertahan (Kern &

Hahn, 2018; Kull, 2013). Contoh dalam suatu spesies tanaman, hanya 1 dari setiap 1000 benih yang bertahan hingga usia reproduksi, dan yang bertahan menghasilkan rata-rata 3000 benih, maka kebugaran rata-rata dari individu tersebut adalah $0,001 \times 3000 = 3$. Individu-individu dalam suatu populasi secara alami bersifat variatif, artinya individu-individu tersebut semua berbeda (Kingsolver & Diamond, 2011).

Variasi dalam populasi dapat disebabkan oleh mutasi. Perubahan urutan DNA ini dapat terjadi secara spontan selama replikasi DNA atau sebagai respon terhadap faktor lingkungan seperti radiasi atau bahan kimia. Mutasi dapat menciptakan variasi genetik baru, dan jika terjadi pada sel germinal (sel sperma atau sel telur), mutasi tersebut dapat diturunkan ke keturunannya. Selain itu, variasi juga dapat berasal dari rekombinasi genetik selama reproduksi seksual. Rekombinasi genetik terjadi ketika gen dari dua tetua digabungkan untuk membentuk satu set gen unik pada keturunannya. Proses yang terjadi selama meiosis ini mengacak materi genetik dan menyebabkan keragaman genetik pada keturunannya.

Variasi dalam populasi juga dapat disebabkan oleh adanya aliran gen ketika individu atau gennya berpindah dari satu populasi ke populasi lainnya. Akibatnya, dapat memasukkan variasi genetik baru ke dalam suatu populasi atau menghomogenisasi kumpulan gen di antara populasi yang berbeda. Misalnya, ketika hewan bermigrasi dan kawin silang dengan individu dari wilayah lain, mereka membawa materi genetik baru ke dalam populasinya.

Variasi genetik juga dapat timbul dari reproduksi seksual melalui kombinasi gen unik dari kedua tetua. Variasi ini sangat signifikan ketika spesies mempunyai tingkat dimorfisme seksual yang tinggi atau ketika seleksi seksual mempengaruhi pemilihan pasangan (Darwin, 2010).

Faktor lingkungan juga dapat berkontribusi terhadap variasi fenotipik. Misalnya, individu-individu dalam populasi yang sama dapat mengalami kondisi lingkungan yang berbeda, yang menyebabkan perbedaan dalam sifat fisik atau perilaku. Perbedaan-perbedaan ini dapat mempunyai dasar genetik, namun dapat dinyatakan berbeda karena pengaruh lingkungan.

Selain itu, duplikasi gen juga dapat memainkan peran penting dalam menciptakan variasi dalam populasi. Suatu segmen DNA dapat mengalami duplikasi sehingga menghasilkan banyak salinan suatu gen. Gen yang diduplikasi ini kemudian dapat berevolusi secara mandiri, menghasilkan fungsi atau sifat baru. Proses ini dapat menjadi sumber inovasi dan keragaman genetik. Dalam beberapa kasus seperti pada bakteri atau organisme bersel tunggal lainnya, variasi dapat dihasilkan dari peristiwa Transfer Gen Horizontal (HGT). Dalam HGT, gen dapat ditransfer secara lateral antar spesies berbeda, sehingga materi genetik baru akan dimasukkan ke dalam genom suatu organisme (Schluter et al., 2010).

Seleksi alam juga dapat timbul melalui peristiwa kompetisi. Organisme dalam suatu populasi sering bersaing untuk mendapatkan sumber daya yang terbatas seperti makanan, air, pasangan, dan tempat tinggal (Köse & Keskin, 2015). Tidak semua individu dapat bertahan hidup dan berkembang biak secara maksimal karena keterbatasan sumber daya tersebut. Kompetisi dapat terbagi menjadi dua, yaitu (1) kompetisi intraspesies: persaingan yang terjadi ketika individu-individu dari spesies yang sama bersaing untuk mendapatkan sumber daya. Misalnya kompetisi antar spesies *Quercus* spp. dalam mendapatkan sinar matahari. (2) kompetisi antarspesies: kompetisi ini terjadi antara individu-individu dari spesies berbeda yang berbagi relung ekologi yang sama dan bersaing untuk mendapatkan sumber daya yang sama. Contohnya adalah spesies burung yang berbeda bersaing untuk mendapatkan serangga yang sama.

5.2.3 Adaptasi Mendorong Evolusi

Adaptasi berkembang seiring berjalannya waktu melalui proses evolusi, yang terutama didorong oleh seleksi alam dan mekanisme evolusi lainnya (Lamm & Kolodny, 2022; Sober & Wilson, 2011). Adaptasi berkembang melalui adanya variasi. Dalam suatu populasi organisme, terdapat variasi genetik yang melekat akibat mutasi, rekombinasi selama reproduksi seksual, dan proses genetik lainnya. Variasi ini menyebabkan adanya perbedaan sifat antar individu. Selain itu, lingkungan terkadang tidak konstan yang

memunculkan adanya tantangan atau cekamna seperti kehadiran predator, persaingan sumber daya, variasi iklim, dan lain-lain. Tantangan-tantangan ini menciptakan tekanan selektif yang mengunggulkan sifat-sifat tertentu dibandingkan sifat-sifat lainnya. Ketika tekanan selektif terjadi pada suatu populasi, individu dengan sifat-sifat yang memberikan keuntungan dalam lingkungan tertentu lebih mungkin untuk bertahan hidup, bereproduksi, dan mewariskan sifat-sifat menguntungkan tersebut kepada keturunannya. Proses ini dikenal sebagai seleksi alam.

Individu dengan sifat-sifat yang menguntungkan lebih besar kemungkinannya untuk menghasilkan lebih banyak keturunan, dan keturunan tersebut mewarisi sifat-sifat yang menguntungkan tersebut. Dari generasi ke generasi, frekuensi sifat-sifat menguntungkan ini meningkat dalam populasi. Sifat yang meningkatkan kemampuan organisme untuk bertahan hidup dan bereproduksi di lingkungan tertentu menjadi lebih umum karena seleksi alam. Sifat-sifat ini dikenal sebagai sifat adaptif. Selama beberapa generasi, mutasi baru dapat terjadi, dan rekombinasi selama reproduksi terus menimbulkan variasi. Beberapa variasi ini dapat mengarah pada adaptasi yang lebih lanjut. Ketika sifat-sifat adaptif terakumulasi dalam suatu populasi seiring berjalannya waktu, karakteristik populasi akan mengalami perubahan bertahap. Perubahan-perubahan ini bisa jadi tidak kentara namun dapat terakumulasi hingga suatu titik di mana suatu populasi menjadi sangat berbeda dari populasi leluhurnya (Levin & Bergstrom, 2000).

Adaptasi dapat mengarah pada spesialisasi, yaitu organisme menjadi disesuaikan secara unik dengan relung ekologi spesifiknya. Spesialisasi ini memungkinkan spesies yang berbeda untuk menempati peran yang berbeda dalam suatu ekosistem, sehingga mengurangi persaingan langsung. Proses seleksi alam dan adaptasi adalah putaran umpan balik yang berkesinambungan. Ketika lingkungan berubah dan tantangan baru muncul, organisme dengan sifat-sifat yang menguntungkan dalam kondisi baru tersebut dipilih, sehingga mengarah pada adaptasi lebih lanjut. Saat spesies berinteraksi satu sama lain, mereka dapat memengaruhi adaptasi satu sama lain. Misalnya, predator dan mangsa dapat saling mendorong adaptasi, sehingga mengarah pada ko-evolusi. Dalam

jangka waktu yang lama, akumulasi adaptasi dapat mengakibatkan perubahan signifikan dalam suatu populasi, yang pada akhirnya menyebabkan munculnya spesies baru. Proses ini disebut spesiasi (Salazar-Ciudad et al., 2003).

Namun, tidak semua sifat merupakan adaptasi. Beberapa sifat mungkin netral, dan sifat lainnya bahkan mungkin maladaptif dalam situasi tertentu. Selain itu, adaptasi tidak selalu sempurna; Hal ini dibatasi oleh variasi genetik yang ada dalam suatu populasi, serta adanya trade-off antara sifat dan fungsi yang berbeda (Köse & Keskin, 2015).

5.2.4 Ancaman Terhadap Biodiversitas

Adaptasi merupakan proses mendasar yang mendorong spesies berevolusi dan berubah seiring waktu sebagai respons terhadap lingkungannya. Adaptasi adalah salah satu pendorong utama keanekaragaman hayati. Melalui proses adaptasi, spesies mengembangkan sifat dan karakteristik unik yang memungkinkan mereka menempati relung ekologi tertentu. Seiring berjalannya waktu, diversifikasi sifat dan ceruk ini menghasilkan beragam bentuk kehidupan di Bumi. Namun, beberapa ancaman dapat menghambat atau mengganggu proses adaptasi sehingga dapat menurunkan keanekaragaman hayati (Walker et al., 2009). Ancaman terhadap biodiversitas dapat berupa:

- 1. Perubahan lingkungan**, seperti perubahan iklim. Perubahan iklim yang disebabkan oleh akumulasi gas rumah kaca di atmosfer, merupakan salah satu tantangan lingkungan hidup yang paling mendesak saat ini. Perubahan iklim mempunyai dampak luas terhadap ekosistem dan keanekaragaman hayati seperti pergeseran habitat. Seiring dengan meningkatnya suhu global, banyak spesies akan mendapati habitat mereka saat ini tidak lagi sesuai. Beberapa diantaranya mungkin mencoba pindah ke daerah yang lebih sejuk, namun hal ini dapat menjadi tantangan jika habitat yang sesuai terbatas atau terfragmentasi, sehingga dapat menyebabkan perpindahan dan potensi penurunan spesies yang tidak mampu beradaptasi atau bermigrasi. Perubahan iklim juga dapat mengganggu waktu terjadinya peristiwa musiman,

seperti mekarnya bunga atau migrasi hewan. Ketika suatu spesies bergantung pada indikator tertentu dalam menentukan waktu aktivitasnya (misalnya, migrasi burung atau penyerbukan serangga), ketidakcocokan dapat terjadi sehingga memengaruhi kelangsungan hidup dan reproduksinya. Perubahan iklim juga dapat meningkatkan kadar karbon dioksida (CO_2) di atmosfer juga diserap oleh lautan, sehingga menyebabkan pengasaman laut. Peristiwa ini dapat membahayakan ekosistem laut, terutama terumbu karang, kerang, dan organisme lain yang cangkang atau kerangkanya mengandung kalsium karbonat. Ketika spesies ini berkurang, seluruh jaring makanan di lautan bisa terganggu. Di kutub bumi, perubahan iklim yang disebabkan oleh pemanasan global dapat menyebabkan mencairnya es. Perubahan habitat ini tentu dapat mengancam spesies ikonik seperti beruang kutub, anjing laut, dan penguin. Habitat spesies-spesies ini akan menghilang, sehingga semakin sulit bagi mereka untuk mendapatkan makanan dan berkembang biak. Perubahan iklim juga dapat menciptakan kondisi yang lebih menguntungkan bagi spesies invasif untuk berkembang biak. Spesies invasif ini dapat mengalahkan spesies asli dalam hal sumber daya dan mengganggu ekosistem, yang seringkali menyebabkan penurunan atau kepunahan spesies asli.

2. **Keragaman genetik yang rendah.** Faktor lain yang dapat menurunkan keanekaragaman hayati adalah keragaman genetik yang rendah. Keragaman genetik yang rendah dapat menyulitkan populasi untuk beradaptasi terhadap perubahan lingkungan. Keragaman genetik yang rendah dapat mengurangi kemungkinan terjadinya mutasi yang menguntungkan dan menyebar ke seluruh populasi. Populasi dengan keragaman genetik yang rendah juga akan lebih rentan terhadap penyakit dan patogen. Ketika individu-individu dalam suatu populasi memiliki susunan genetik yang sama, satu penyakit atau perubahan lingkungan berpotensi memusnahkan sebagian besar populasi karena bisa jadi hanya ada sedikit individu yang memiliki resistensi genetik (Paaby & Rockman, 2014).

Keragaman genetik yang rendah dapat disebabkan oleh jumlah populasi yang sedikit. Ketika individu-individu yang berkerabat dekat dalam suatu populasi kawin, dapat menyebabkan depresi perkawinan sedarah. Individu yang mengalami perkawinan sedarah lebih cenderung menunjukkan sifat-sifat resesif yang mungkin bertanggung jawab terhadap penurunan penyakit tertentu, sehingga menyebabkan berkurangnya kebugaran dan keberhasilan reproduksi. Seiring berjalannya waktu, dapat mengakibatkan ukuran populasi menjadi semakin kecil dan kurang sehat.

Keragaman genetik yang rendah dapat menyebabkan masalah reproduksi, seperti berkurangnya kesuburan dan rendahnya tingkat kelangsungan hidup keturunan. Kejadian ini selanjutnya dapat menurunkan ukuran populasi dan keragaman genetik, sehingga menciptakan umpan balik negatif. Ukuran populasi dan keragaman genetik yang rendah pada akhirnya akan membatasi kemampuan suatu populasi untuk berevolusi dan dapat menyebabkan kepunahan jika populasi tersebut tidak dapat beradaptasi dengan cukup cepat terhadap tantangan-tantangan baru. Ketika suatu populasi menjadi terlalu kecil dan miskin secara genetik, maka populasi tersebut mungkin tidak mempunyai sumber daya genetik yang diperlukan untuk pulih atau beradaptasi (Cramon-Taubadel, 2019).

3. **Kompetisi** dengan spesies lain untuk mendapatkan sumber daya yang terbatas dapat menjadi ancaman signifikan terhadap biodiversitas. Ketika banyak spesies bersaing untuk mendapatkan sumber daya yang sama, akan sulit bagi satu spesies untuk mengembangkan sifat-sifat yang memberikan keunggulan kompetitif. Persaingan untuk mendapatkan sumber daya yang terbatas seperti makanan, air, dan tempat berlindung dapat menyebabkan tersingkirnya spesies yang kurang kompetitif. Dalam hal ini, persaingan dapat mengurangi keanekaragaman hayati dengan mengutamakan spesies yang lebih efisien dalam perolehan sumber daya. Hal ini sering terlihat pada ekosistem dengan persaingan sumber daya yang ketat, seperti beberapa komunitas tumbuhan di

mana spesies dominan bersaing dengan spesies lain dalam hal nutrisi dan sinar matahari.

Kompetisi ini juga bisa terjadi dengan spesies asing yang bisa bersifat invasive. Spesies invasif, yang seringkali sangat kompetitif, dapat mengurangi keanekaragaman hayati dengan mengalahkan dan menggusur spesies asli di habitat barunya. Hal ini menjadi perhatian besar bagi upaya konservasi, karena spesies invasif dapat menyebabkan penurunan atau kepunahan spesies asli.

Namun terkadang kompetisi tidak selalu menyebabkan penurunan biodiversitas. Di sisi lain, persaingan juga dapat mendorong diferensiasi relung, yaitu spesies berevolusi untuk menggunakan sumber daya yang berbeda atau menempati relung ekologi yang berbeda untuk mengurangi persaingan. Hal ini sebenarnya dapat meningkatkan keanekaragaman hayati dengan memungkinkan banyak spesies hidup berdampingan dalam suatu ekosistem. Misalnya, spesies burung yang berbeda mungkin berspesialisasi dalam memakan jenis serangga berbeda di hutan yang sama.

- 4. Penyakit dan Patogen.** Penyakit dapat selalu menjadi ancaman terhadap keanekaragaman hayati. Jika suatu penyakit baru muncul, hal ini dapat menyebabkan tingkat kematian yang tinggi dalam suatu populasi sebelum sifat-sifat adaptif mempunyai kesempatan untuk berevolusi (Zampieri, 2009).

Penyakit dan patogen memang dapat menjadi ancaman yang signifikan bagi keanekaragaman hayati dengan mempengaruhi kesehatan dan kelangsungan hidup organisme individu, populasi, dan seluruh spesies. Berikut adalah beberapa cara penyakit dan patogen dapat berdampak pada keanekaragaman hayati:

Kematian Langsung: Penyakit dapat menyebabkan kematian langsung pada populasi satwa liar. Wabah penyakit menular dapat menyebabkan kematian berskala besar, terutama pada spesies yang memiliki resistensi atau pertahanan imunologis terbatas terhadap patogen tertentu.

Penurunan Populasi: Penyakit kronis atau berulang dapat menyebabkan penurunan populasi dari waktu ke waktu. Individu yang lemah dapat bereproduksi dengan kurang berhasil, yang menyebabkan berkurangnya ukuran populasi. Dalam beberapa kasus, penyakit dapat menjadi pendorong utama penurunan populasi atau bahkan kepunahan.

Perubahan Perilaku dan Ekologi: Penyakit dapat mempengaruhi perilaku individu yang terinfeksi. Sebagai contoh, beberapa parasit mengubah perilaku inang mereka, membuat mereka lebih rentan terhadap pemangsaan. Hal ini dapat berdampak pada hubungan mangsa-pemangsa dan dinamika komunitas.

Peningkatan Kerentanan terhadap Ancaman Lain: Individu yang terinfeksi sering kali lebih rentan terhadap ancaman lain seperti pemangsaan, hilangnya habitat, dan perubahan iklim. Penyakit dapat melemahkan hewan dan mengurangi kemampuan mereka untuk mengatasi stresor lainnya.

Hilangnya Keanekaragaman Genetik: Penyakit dapat menyebabkan tekanan selektif yang menguntungkan individu dengan ciri-ciri genetik tertentu. Seiring waktu, hal ini dapat mengurangi keanekaragaman genetik dalam populasi karena hanya mereka yang memiliki gen yang paling tahan yang dapat bertahan hidup dan berkembang biak.

Interaksi Spesies: Penyakit dapat mengganggu hubungan ekologis dan interaksi spesies. Sebagai contoh, penyakit yang menyerang penyerbuk atau penyebar benih dapat merusak keberhasilan reproduksi tanaman, sehingga mempengaruhi seluruh ekosistem.

Munculnya Penyakit Menular: Masuknya penyakit baru ke dalam populasi inang yang lugu dapat menimbulkan dampak yang sangat merusak. Hal ini sering terjadi ketika patogen berpindah dari hewan peliharaan ke satwa liar atau melalui pergerakan spesies invasif. Contohnya adalah jamur chytrid pada amfibi dan sindrom hidung putih pada kelelawar.

Fragmentasi dan Hilangnya Habitat: Habitat yang terfragmentasi dapat meningkatkan risiko penularan penyakit di antara populasi satwa liar. Berkurangnya konektivitas habitat dapat menyebabkan kepadatan populasi yang lebih tinggi di daerah-

daerah yang terisolasi, sehingga memudahkan penyebaran patogen.

Perubahan iklim: Perubahan iklim dapat mengubah distribusi vektor penyakit (misalnya, kutu, nyamuk) dan meningkatkan prevalensi penyakit di area baru. Hal ini dapat membuat populasi satwa liar yang sebelumnya tidak terpengaruh menjadi terancam oleh penyakit.

Implikasi Konservasi: Pengelolaan penyakit dapat menjadi tantangan dalam upaya konservasi. Mengobati atau memvaksinasi populasi liar sering kali sulit secara logistik atau mungkin memiliki konsekuensi yang tidak diinginkan, dan memperkenalkan individu yang ditangkarkan atau yang tahan terhadap penyakit ke dalam populasi liar dapat memiliki implikasi etis dan ekologis.

5. **Isolasi.** Populasi yang terisolasi satu sama lain, baik karena hambatan geografis atau faktor lain, mungkin menghadapi aliran gen yang terbatas. Hal ini dapat mengurangi keragaman genetik dan mempersulit populasi untuk beradaptasi terhadap perubahan kondisi. Isolasi dapat memberikan dampak negatif terhadap keanekaragaman hayati, diantaranya:

Berkurangnya Keanekaragaman Genetik: Isolasi dapat menyebabkan berkurangnya keragaman genetik dalam populasi. Ketika individu terisolasi dan memiliki aliran gen yang terbatas dengan populasi lain, mereka dapat mengalami perkawinan sedarah dan risiko kelainan genetik yang lebih tinggi. Keanekaragaman genetik yang rendah dapat mengurangi potensi adaptasi suatu populasi, membuatnya lebih rentan terhadap perubahan lingkungan dan penyakit.

Risiko Kepunahan: Populasi kecil dan terisolasi sering kali lebih rentan terhadap kepunahan. Mereka memiliki risiko yang lebih besar terhadap kejadian stokastik (kejadian acak yang berdampak signifikan), seperti wabah penyakit atau bencana alam, yang dapat memusnahkan seluruh populasi. Dalam jangka panjang, populasi kecil mungkin akan kesulitan beradaptasi dengan perubahan kondisi lingkungan.

Hilangnya Konektivitas: Isolasi total dapat menyebabkan hilangnya konektivitas di antara populasi, sehingga menyulitkan spesies untuk menjajah kembali area yang telah terkena dampak gangguan atau pulih dari penurunan. Hal ini dapat membatasi kemampuan spesies untuk beradaptasi dan bertahan.

Spesies Invasif: Ekosistem yang terisolasi seringkali lebih rentan terhadap spesies invasif, yang dapat mengalahkan dan mengganggu spesies asli. Tanpa predator atau pesaing alami, populasi yang terisolasi mungkin tidak memiliki pertahanan yang diperlukan untuk melawan invasi.

6. Aktivitas Manusia: Aktivitas manusia telah memberikan dampak yang sangat besar dan sering kali merugikan terhadap keanekaragaman hayati. Banyak dari kegiatan ini telah menyebabkan kerusakan habitat, eksploitasi sumber daya yang berlebihan, polusi, dan masuknya spesies invasif, yang semuanya mengancam keanekaragaman hayati dengan berbagai cara. Berikut ini adalah beberapa cara di mana aktivitas manusia dapat membahayakan keanekaragaman hayati:

Kerusakan Habitat: Aktivitas manusia seperti penggundulan hutan, urbanisasi, dan pertanian telah menyebabkan kerusakan dan fragmentasi habitat alami. Ketika habitat berubah atau hilang, banyak spesies kehilangan tempat tinggal dan berjuang untuk bertahan hidup. Hilangnya habitat ini merupakan pendorong utama kepunahan dan kepunahan spesies.

Polusi: Polusi dari sumber industri, pertanian, dan rumah tangga dapat berdampak buruk pada ekosistem dan spesies. Polusi udara, polusi air, dan kontaminasi tanah dapat membahayakan tanaman, hewan, dan mikroorganisme. Sebagai contoh, pestisida dan pupuk dapat membahayakan spesies yang bukan target, dan polutan seperti logam berat dapat terakumulasi dalam rantai makanan.

Eksploitasi berlebihan: Manusia sering mengeksploitasi sumber daya alam di luar batas keberlanjutan. Penangkapan ikan yang berlebihan, perdagangan satwa liar ilegal, dan perburuan dapat menyebabkan penurunan populasi dan bahkan kepunahan

spesies. Pemanenan yang berlebihan ini mengganggu ekosistem dan dapat menimbulkan dampak lanjutan pada spesies lain.

Perubahan Iklim: Pembakaran bahan bakar fosil dan penggundulan hutan melepaskan gas rumah kaca, seperti karbon dioksida, ke atmosfer, yang menyebabkan perubahan iklim. Perubahan iklim mengubah pola suhu dan curah hujan, menyebabkan pergeseran distribusi spesies dan fenologi. Banyak spesies yang mungkin kesulitan beradaptasi atau menghadapi peningkatan risiko kepunahan karena perubahan yang cepat ini.

Fragmentasi Habitat: Pembangunan infrastruktur, seperti jalan dan daerah perkotaan, sering kali memecah habitat alami. Habitat yang terfragmentasi dapat mengisolasi populasi, mengurangi keanekaragaman genetik, dan menyulitkan spesies untuk menemukan makanan, pasangan, dan habitat yang sesuai.

Perubahan Penggunaan Lahan: Konversi ekosistem alami menjadi area pertanian, industri, atau perkotaan mengubah bentang alam dan dapat mengusir spesies asli. Bahkan ketika beberapa habitat tetap ada, habitat tersebut mungkin tidak lagi mendukung keanekaragaman hayati yang sama dengan ekosistem aslinya.

Masuknya Penyakit: Aktivitas manusia dapat memperkenalkan penyakit baru pada populasi satwa liar. Hewan peliharaan, seperti ternak atau hewan peliharaan, dapat membawa penyakit yang dapat ditularkan ke satwa liar. Penyakit-penyakit ini dapat berdampak buruk pada populasi satwa liar yang masih lugu.

Restorasi Habitat: Meskipun beberapa upaya konservasi bertujuan untuk memulihkan habitat, metode yang digunakan mungkin tidak selalu sesuai dengan kebutuhan spesifik spesies asli. Sebagai contoh, upaya reboisasi mungkin melibatkan penanaman spesies pohon non-asli, yang dapat berdampak negatif terhadap keanekaragaman hayati lokal.

Pembangunan Infrastruktur: Proyek infrastruktur berskala besar, seperti bendungan, dapat mengganggu ekosistem sungai dan menyebabkan perubahan aliran air dan transportasi sedimen, yang memengaruhi keanekaragaman hayati akuatik.

7. Pertukaran Evolusi. Evolusi sering kali melibatkan pertukaran. Adaptasi yang menguntungkan suatu spesies

dalam satu konteks mungkin berdampak negatif pada konteks lain. Pertukaran ini dapat membatasi kemampuan suatu spesies untuk beradaptasi terhadap perubahan kondisi. Pertukaran ini dapat memiliki implikasi penting bagi keanekaragaman hayati dalam beberapa cara:

Alokasi Sumber Daya: Organisme memiliki sumber daya yang terbatas, seperti energi dan nutrisi. Trade-off dalam alokasi sumber daya berarti bahwa berinvestasi besar-besaran pada satu sifat atau fungsi dapat mengorbankan sifat atau fungsi yang lain. Sebagai contoh, tanaman yang mengalokasikan lebih banyak sumber daya untuk pertumbuhan yang cepat mungkin memiliki lebih sedikit sumber daya yang tersedia untuk pertahanan terhadap herbivora.

Strategi Reproduksi: Pertukaran sering terjadi dalam strategi reproduksi. Spesies mungkin menghadapi trade-off antara menghasilkan banyak keturunan dengan investasi induk yang lebih rendah (kuantitas) atau menghasilkan lebih sedikit keturunan dengan investasi induk yang lebih tinggi (kualitas). Hal ini dapat mempengaruhi keragaman strategi reproduksi dalam suatu populasi atau spesies.

Kelangsungan Hidup dan Reproduksi: Pertukaran dapat mempengaruhi keseimbangan antara kelangsungan hidup dan reproduksi. Sebagai contoh, spesies yang mengalokasikan lebih banyak sumber daya untuk reproduksi mungkin memiliki umur yang lebih pendek atau tingkat kelangsungan hidup yang lebih rendah, yang dapat memengaruhi dinamika populasi dan keanekaragaman hayati.

Radiasi Adaptif: Radiasi adaptif, di mana satu spesies leluhur memunculkan beberapa spesies baru dalam jangka waktu yang relatif singkat, sering kali melibatkan pertukaran. Garis keturunan yang berbeda dapat mengembangkan sifat-sifat yang berbeda untuk mengeksplorasi sumber daya atau ceruk yang berbeda, yang mengarah pada peningkatan keanekaragaman hayati.

Dinamika Pemangsa-Mangsa: Pertukaran dalam interaksi mangsa-pemangsa dapat mempengaruhi keanekaragaman hayati. Sebagai contoh, pemangsa mungkin menghadapi

pertukaran antara kecepatan dan kemampuan bermanuver, sementara mangsa mungkin menghadapi pertukaran antara mekanisme pertahanan dan efisiensi mencari makan. Pertukaran ini dapat mendorong terjadinya koevolusi dan diversifikasi.

Stabilitas Ekologi: Keanekaragaman hayati dapat meningkatkan stabilitas ekosistem dengan menyediakan redundansi dan keanekaragaman fungsional. Pertukaran sifat dan fungsi spesies yang berbeda berkontribusi pada stabilitas ini dengan memastikan bahwa beberapa spesies memenuhi peran ekologis yang unik.

Secara keseluruhan, adaptasi dalam evolusi merupakan proses yang berkelanjutan dan dinamis, namun dapat dipengaruhi dan dibatasi oleh berbagai faktor eksternal. Kemampuan suatu spesies untuk beradaptasi dengan sukses bergantung pada interaksi keragaman genetik, tekanan seleksi, serta laju dan skala perubahan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Antonovics, J. 1976. The Nature of Limits to Natural Selection. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. <https://doi.org/10.2307/2395303>
- Barton, N., & Partridge, L. 2000. Limits to Natural Selection. *Bioessays*. [https://doi.org/10.1002/1521-1878\(200012\)22:12<1075::aid-bies5>3.0.co;2-m](https://doi.org/10.1002/1521-1878(200012)22:12<1075::aid-bies5>3.0.co;2-m)
- Bock, W. J. 2009. The Darwin -Wallace Myth of 1858. *Proceedings of the Zoological Society*. <https://doi.org/10.1007/s12595-009-0001-9>
- Carroll, S. P. 2008. Facing Change: Forms and Foundations of Contemporary Adaptation to Biotic Invasions. *Molecular Ecology*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294x.2007.03484.x>
- Cramon-Taubadel, N. von. 2019. Multivariate Morphometrics, Quantitative Genetics, and Neutral Theory: Developing a "Modern Synthesis" for Primate Evolutionary Morphology. *Evolutionary Anthropology Issues News and Reviews*. <https://doi.org/10.1002/evan.21761>
- Darwin, C. 2010. *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. <https://doi.org/10.1093/owc/9780199580149.003.0008>
- Dongen, P. A. M. van, & Vossen, J. M. H. 1984. Can the Theory of Evolution Be Falsified? *Acta Biotheoretica*. <https://doi.org/10.1007/bf00045845>
- Ereshefsky, M. 2011. Mystery of Mysteries: Darwin and the Species Problem. *Cladistics*. <https://doi.org/10.1111/j.1096-0031.2010.00311.x>
- Gawne, R., McKenna, K., & Nijhout, H. F. 2017. Unmodern Synthesis: Developmental Hierarchies and the Origin of Phenotypes. *Bioessays*. <https://doi.org/10.1002/bies.201600265>
- Holloway, A. K., Lawniczak, M., Mezey, J. G., Begun, D. J., & Jones, C. D. 2007. Adaptive Gene Expression Divergence Inferred From Population Genomics. *Plos Genetics*. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.0030187>
- Kern, A. D., & Hahn, M. W. 2018. The Neutral Theory in Light of Natural Selection. *Molecular Biology and Evolution*. <https://doi.org/10.1093/molbev/msy092>

- Kingsolver, J. G., & Diamond, S. E. 2011. Phenotypic Selection in Natural Populations: What Limits Directional Selection? *The American Naturalist*. <https://doi.org/10.1086/658341>
- Köse, E. Ö., & Keskin, B. 2015. Understanding Adaptation and Natural Selection: Common Misconceptions. *International Journal of Academic Research in Education*. <https://doi.org/10.17985/ijare.53146>
- Kull, K. 2013. Adaptive Evolution Without Natural Selection. *Biological Journal of the Linnean Society*. <https://doi.org/10.1111/bij.12124>
- Lamm, E., & Kolodny, O. 2022. Distributed Adaptations: Can a Species Be Adapted While No Single Individual Carries the Adaptation? *Frontiers in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.791104>
- Levin, B. R., & Bergstrom, C. T. 2000. Bacteria Are Different: Observations, Interpretations, Speculations, and Opinions About the Mechanisms of Adaptive Evolution in Prokaryotes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.13.6981>
- Marciano, A. 2009. Why Hayek Is a Darwinian (After All)? Hayek and Darwin on Social Evolution. *Journal of Economic Behavior & Organization*. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2007.04.005>
- Paaby, A. B., & Rockman, M. V. 2014. Cryptic Genetic Variation: Evolution's Hidden Substrate. *Nature Reviews Genetics*. <https://doi.org/10.1038/nrg3688>
- Portela, A., & Esteller, M. 2010. Epigenetic Modifications and Human Disease. *Nature Biotechnology*. <https://doi.org/10.1038/nbt.1685>
- Salazar-Ciudad, I., Jernvall, J., & Newman, S. A. 2003. Mechanisms of Pattern Formation in Development and Evolution. *Development*. <https://doi.org/10.1242/dev.00425>
- Schluter, D., Marchinko, K. B., Barrett, R. D. H., & Rogers, S. M. 2010. Natural Selection and the Genetics of Adaptation in Threespine Stickleback. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0036>

- Sober, E., & Wilson, D. S. 2011. Adaptation and Natural Selection Revisited. *Journal of Evolutionary Biology*. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2010.02162.x>
- Tessera, M. 2018. Is Pre-Darwinian Evolution Plausible? *Biology Direct*. <https://doi.org/10.1186/s13062-018-0216-7>
- Walker, S., Brower, A., Stephens, R. T. T., & Lee, W. G. 2009. Why Bartering Biodiversity Fails. *Conservation Letters*. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263x.2009.00061.x>
- Zampieri, F. 2009. Medicine, Evolution, and Natural Selection: An Historical Overview. *The Quarterly Review of Biology*. <https://doi.org/10.1086/648122>

BAB 6

KEANEKARAGAMAN HAYATI

Oleh Nurcahyo Widyodaru Saputro

6.1 Pendahuluan

Keanekaragaman hayati, atau keanekaragaman kehidupan di Bumi, merupakan topik yang sangat penting dan relevan karena berbagai alasan. Pertama, keanekaragaman hayati menyediakan banyak jasa ekosistem yang penting bagi kelangsungan hidup dan kesejahteraan semua organisme hidup, termasuk manusia (D. *et al.*, 2004), termasuk menyediakan pangan, air minum, penyaringan udara dan pengendalian iklim.

Kedua, keanekaragaman hayati berperan penting dalam menjaga stabilitas dan ketahanan ekosistem. Keanekaragaman spesies memastikan ekosistem dapat beradaptasi dan merespons perubahan lingkungan, seperti perubahan iklim atau bencana alam. Ketahanan ini penting untuk kelangsungan hidup ekosistem dan spesies yang menghuninya dalam jangka panjang.

Selain itu, keanekaragaman hayati penting bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan medis. Sebagian besar obat yang kita gunakan saat ini berasal dari sumber alami, seperti tumbuhan dan hewan. Hilangnya keanekaragaman hayati berarti terhambatnya potensi penemuan obat dan pengobatan baru di masa depan. Selain itu, penelitian keanekaragaman hayati memberikan informasi berharga tentang fungsi ekosistem dan interaksi antar spesies, sehingga berkontribusi pada pemahaman kita tentang proses ekologi. Indonesia, negara yang terletak di Samudera Pasifik, merupakan negara dengan keanekaragaman hayati dengan keanekaragaman hayati mencakup sekitar 1,3% dari luas daratannya. Flora tanah air merupakan bagian penting dari flora dunia, dengan 25 spesies dunia yang sangat beragam, 40% di antaranya merupakan endemik atau asli Indonesia (Kusmana and Hikmat, 2015), serta memiliki 240 spesies tumbuhan endemik

dunia baik dalam keanekaragaman flora dan fauna di habitat Indonesia (Lubis, 2011).

Perlindungan terhadap keanekaragaman hayati Indonesia harus dijamin oleh semua pihak. Melibatkan upaya untuk memprediksi peningkatan laju hilangnya keanekaragaman hayati akibat perubahan iklim. Hilangnya keanekaragaman hayati mempunyai implikasi etika yang penting. Setiap spesies memiliki nilai yang melekat dan hak untuk hidup, terlepas dari bagaimana manusia menggunakannya (Mora *et al.*, 2011). Sebagai penjaga planet ini, kita mempunyai tanggung jawab moral untuk melindungi dan melestarikan keanekaragaman hayati untuk generasi mendatang.

Keanekaragaman hayati merupakan topik yang penting dan relevan karena jasa ekosistem penting yang diberikannya, perannya dalam menjaga stabilitas dan ketahanan ekosistem, potensi kemajuan ilmu pengetahuan dan medis, nilai-nilai budaya dan estetika serta kewajiban moralnya untuk melindungi dan melestarikan keanekaragaman ekosistem. hidup di bumi. Memahami dan mengatasi ancaman terhadap keanekaragaman hayati sangat penting untuk memastikan masa depan yang berkelanjutan dan harmonis bagi manusia dan alam.

6.2 Konsep Dasar Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati mengacu pada keragaman bentuk kehidupan yang ada di Bumi, termasuk semua tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme. Hal ini mencakup keanekaragaman genetik, spesies, dan ekosistem yang ada di wilayah tertentu atau di seluruh planet. Keanekaragaman ini penting bagi fungsi dan stabilitas ekosistem, serta kesejahteraan masyarakat.

1. Keanekaragaman genetik:

Tingkat keanekaragaman hayati mengacu pada variasi gen dalam suatu spesies. Ini mencakup berbagai ciri dan karakteristik genetik yang dimiliki individu suatu spesies. Keanekaragaman genetik memainkan peran penting dalam memungkinkan spesies beradaptasi dan bertahan hidup dalam perubahan lingkungan. Ini menyediakan sumber daya genetik

yang diperlukan untuk evolusi dan membantu menjaga ketahanan ekosistem.

2. Keanekaragaman spesies:

Keanekaragaman spesies mengacu pada keragaman spesies berbeda yang ada di suatu wilayah tertentu. Hal ini mencakup jumlah spesies, kelimpahan dan distribusinya. Keanekaragaman spesies yang lebih besar menunjukkan ekosistem yang lebih seimbang dan sehat. Setiap spesies memainkan peran unik dalam menjaga fungsi ekosistem, seperti penyerbukan, siklus nutrisi, dan pengendalian hama. Hilangnya keanekaragaman spesies dapat mengganggu proses ekologi dan menyebabkan degradasi ekosistem.

3. Keanekaragaman ekosistem:

Keanekaragaman ekosistem mengacu pada keragaman ekosistem atau habitat berbeda yang ada di suatu wilayah tertentu. Ini mencakup banyak ekosistem darat, air tawar dan laut, seperti hutan, rawa, terumbu karang, dan padang rumput. Setiap ekosistem memiliki kumpulan spesies dan interaksi ekologisnya sendiri. Keanekaragaman ekosistem menjamin penyediaan jasa ekosistem yang penting, seperti udara dan air bersih, pengaturan iklim dan kesuburan tanah.

Keanekaragaman hayati mempunyai dampak yang sangat besar terhadap bumi dan kehidupan manusia. Selain menjaga keseimbangan ekosistem dengan spesies dan keanekaragaman fungsional, keanekaragaman hayati juga membawa manfaat ekonomi yang penting. Berikut beberapa alasan mengapa melestarikan keanekaragaman hayati itu penting :

1. Keseimbangan ekologi:

Keanekaragaman hayati penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem. Setiap spesies memainkan peran tertentu dalam jaring makanan dan proses ekologi. Hilangnya satu spesies dapat menimbulkan dampak besar pada keseluruhan ekosistem, menyebabkan ketidakseimbangan dan potensi keruntuhan.

2. Ekosistem:

Keanekaragaman hayati menyediakan banyak jasa ekosistem yang penting bagi kesehatan manusia. Layanan ini mencakup penyediaan makanan, air bersih, obat-obatan, pengendalian iklim, dan sumber daya alam. Menjaga keanekaragaman hayati menjamin ketersediaan layanan-layanan ini secara berkelanjutan, yang penting untuk menjaga keberlanjutan masyarakat manusia.

3. Ketahanan dan kemampuan beradaptasi:

Keanekaragaman hayati meningkatkan ketahanan dan kapasitas adaptasi ekosistem. Keanekaragaman genetik dalam spesies memungkinkan mereka beradaptasi terhadap perubahan kondisi lingkungan, seperti perubahan iklim atau penyakit. Ekosistem dengan keanekaragaman hayati yang lebih besar akan lebih tahan terhadap gangguan dan dapat pulih lebih cepat dari gangguan yang disebabkan oleh alam atau manusia.

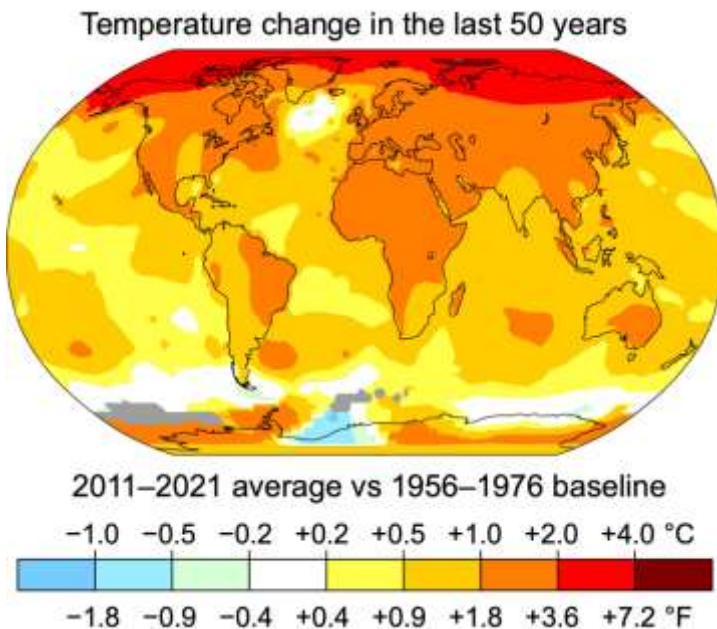
4. Nilai budaya dan estetika:

Keanekaragaman hayati juga memiliki nilai budaya dan estetika. Ini adalah sumber inspirasi, keindahan dan identitas budaya. Banyak komunitas adat yang bergantung pada keanekaragaman hayati untuk aktivitas tradisional, upacara, dan mata pencaharian mereka. Menjaga keanekaragaman hayati membantu melindungi warisan budaya dan meningkatkan rasa keterhubungan dengan alam.

Secara keseluruhan, keanekaragaman hayati mencakup beragam bentuk kehidupan yang ada di Bumi dan penting bagi fungsinya ekosistem dan kesejahteraan masyarakat manusia. Mereka ada di berbagai tingkatan, termasuk keanekaragaman genetik, spesies, dan ekosistem. Menjaga keanekaragaman hayati diperlukan untuk menjaga keseimbangan ekologi, menyediakan jasa ekosistem yang penting, meningkatkan ketahanan dan melindungi nilai-nilai budaya dan estetika.

6.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati mengacu pada keragaman kehidupan di Bumi, termasuk semua spesies tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme yang berbeda. Berbagai faktor mempengaruhi keanekaragaman hayati, ada yang bersifat alami dan ada pula yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia (Setiawan, 2022).



Gambar 6.1. Perubahan suhu bumi 50 tahun terakhir
(Sumber : NASA)

Perubahan iklim merupakan faktor alam yang mempengaruhi keanekaragaman hayati. Perubahan suhu dan curah hujan dapat berdampak signifikan terhadap distribusi spesies dan kemampuan mereka untuk bertahan hidup (Lubis, 2011).

Misalnya, kenaikan suhu dapat menyebabkan beberapa spesies bermigrasi ke daerah lintang atau ketinggian yang lebih tinggi untuk mencari habitat yang sesuai, sementara spesies lainnya mungkin tidak dapat beradaptasi dan berisiko punah. Bencana alam seperti gempa bumi, letusan gunung berapi, badai dan banjir juga

dapat berdampak besar terhadap keanekaragaman hayati(Sutoyo, 2010). Peristiwa ini dapat menghancurkan habitat, mengganggu ekosistem, dan menyebabkan hilangnya banyak spesies. Namun, beberapa spesies telah berevolusi untuk bertahan hidup atau bahkan mendapat manfaat dari gangguan tersebut, sehingga berkontribusi terhadap ketahanan keanekaragaman hayati secara keseluruhan(Ridhwan, 2012).

Faktor alam lain yang mempengaruhi keanekaragaman hayati adalah seleksi alam. Proses ini menentukan individu mana dalam suatu populasi yang paling mampu beradaptasi untuk bertahan hidup dan bereproduksi di lingkungan tertentu. Seiring berjalannya waktu, seleksi alam mengarah pada evolusi spesies baru dan punahnya spesies lain, sehingga membentuk keanekaragaman kehidupan di Bumi.

Selain faktor alam, aktivitas manusia juga berperan penting dalam mempengaruhi keanekaragaman hayati. Faktor buatan manusia ini dapat menimbulkan dampak positif dan negatif. Misalnya, penggundulan hutan dan kerusakan habitat untuk pertanian, urbanisasi atau pembangunan infrastruktur dapat menyebabkan hilangnya spesies dan habitatnya. Polusi, khususnya udara dan air, juga menimbulkan ancaman terhadap keanekaragaman hayati dengan mencemari ekosistem dan merugikan organisme. Di sisi lain, upaya konservasi dan praktik berkelanjutan dapat membantu menjaga dan memulihkan keanekaragaman hayati.

Kawasan yang dilindungi, seperti taman nasional dan cagar alam, menyediakan habitat bagi banyak spesies dan membantu menjaga keanekaragaman hayati. Selain itu, praktik-praktik seperti pertanian berkelanjutan, penangkapan ikan yang bertanggung jawab, dan inisiatif konservasi satwa liar bertujuan untuk meminimalkan dampak negatif aktivitas manusia terhadap keanekaragaman hayati.

Singkatnya, keanekaragaman hayati dipengaruhi oleh kombinasi faktor alam dan manusia. Meskipun faktor alam seperti perubahan iklim, bencana alam, dan seleksi alam membentuk keanekaragaman hayati, aktivitas manusia dapat berkontribusi terhadap penurunan atau membantu menjaga keanekaragaman

hayati. Memahami dan mengatasi faktor-faktor ini sangat penting untuk menjamin kelangsungan hidup jangka panjang dan pengelolaan berkelanjutan dari beragam ekosistem bumi dan spesies yang menghuninya.

6.4 Metode Pengukuran dan Pemantauan Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati merupakan aspek penting dari lingkungan alam kita, dan pengukuran serta pemantauan merupakan hal yang penting untuk memahami dan mengelola perubahan yang sedang berlangsung. Ada banyak metode dan teknik berbeda untuk menilai dan mengukur keanekaragaman hayati. Salah satu metode utama yang digunakan adalah inventarisasi.

1. Inventarisasi melibatkan identifikasi dan penghitungan spesies berbeda yang ada di suatu wilayah tertentu. Metode ini sering kali melibatkan survei lapangan di mana para ilmuwan dan peneliti mengumpulkan data tentang kelimpahan dan distribusi tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme.



Gambar 6.2. Kegiatan penginventarisasi tanaman
(Sumber : Google)

Mereka dapat menggunakan berbagai alat seperti kamera jebakan, jaring kabut, dan transek untuk menangkap dan mencatat keanekaragaman hayati. Data yang dikumpulkan

dari inventarisasi dapat memberikan informasi berharga tentang kelimpahan, pemerataan, dan keanekaragaman spesies. Kekayaan spesies mengacu pada jumlah total spesies berbeda di suatu wilayah tertentu, sedangkan pemerataan mengukur kelimpahan relatif setiap spesies. Keanekaragaman memerlukan kekayaan dan pemerataan spesies untuk memberikan pemahaman yang lebih lengkap tentang keanekaragaman hayati.

2. Pemantauan dan pengukuran keanekaragaman hayati dalam jangka panjang juga penting untuk melacak perubahan dari waktu ke waktu. Dihadapkan dengan meningkatnya ancaman perusakan habitat, perubahan iklim, dan kepunahan spesies, pemantauan keanekaragaman hayati sangatlah penting untuk mengidentifikasi dan mengatasi penurunan atau potensi perubahan ekosistem.



Gambar 6.3. Pemantauan satwa liar di hutan
(Sumber : Google)

Pemantauan jangka panjang memungkinkan para ilmuwan mengamati pola dan tren, sehingga memberikan wawasan mengenai dampak aktivitas manusia terhadap keanekaragaman hayati. Hal ini membantu mengidentifikasi bidang-bidang yang menjadi perhatian, mengevaluasi

efektivitas tindakan konservasi dan memandu pengambilan keputusan.

Dengan mengukur dan memantau keanekaragaman hayati secara rutin, kita dapat lebih memahami kesehatan ekosistem, mendeteksi tanda-tanda awal degradasi lingkungan, dan menerapkan strategi konservasi yang tepat. Hal ini memungkinkan kita mengambil keputusan yang tepat untuk memastikan perlindungan dan pengelolaan sumber daya alam kita secara berkelanjutan.

Dengan demikian, inventarisasi dapat memberikan kontribusi yang berharga untuk mengidentifikasi dan mengukur keanekaragaman hayati. Sementara pemantauan jangka panjang diperlukan untuk melacak perubahan dan memahami dampak kegiatan keanekaragaman hayati terhadap manusia. Menerapkan metode ini membantu kita melindungi dan mempertahankan keanekaragaman kehidupan yang luar biasa di planet kita.

6.5 Manfaat Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati mengacu pada keragaman organisme hidup yang ditemukan di Bumi, termasuk tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme. Hal ini memainkan peran penting dalam mendukung berbagai aspek kehidupan kita, termasuk perekonomian, ekosistem, dan kesehatan manusia.

1. Ekonomi:

Keanekaragaman hayati mendukung perekonomian dalam berbagai cara, termasuk pariwisata dan industri farmasi. Banyak kawasan alam yang kaya akan keanekaragaman hayati seperti taman nasional dan cagar alam menarik wisatawan dari seluruh dunia. Wisatawan ini berkontribusi terhadap perekonomian lokal dengan mengeluarkan uang untuk akomodasi, makanan, transportasi, dan suvenir.



Gambar 6.4. Kawasan ekowisata hutan mangrove penajam
(Sumber : Google)

Selain itu, keanekaragaman hayati memberikan peluang bagi ekowisata, dimana pengunjung dapat menjelajahi dan mengapresiasi keunikan flora dan fauna suatu daerah tertentu. Selain itu, keanekaragaman hayati menyediakan sumber daya berharga untuk obat-obatan potensial. Banyak tumbuhan dan hewan menghasilkan senyawa yang dapat digunakan untuk mengembangkan obat untuk mengobati berbagai penyakit. Misalnya, obat anti kanker Taxol yang berasal dari kulit pohon yew Pasifik. Dengan menjaga keanekaragaman hayati, kami memastikan ketersediaan sumber potensial obat-obatan ini, yang bermanfaat bagi kesehatan manusia dan industri farmasi.

2. Ekosistem:

Keanekaragaman hayati berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Setiap spesies menempati tempat atau peran unik dalam ekosistem dan interaksinya berkontribusi terhadap fungsi dan stabilitas ekosistem secara keseluruhan. Misalnya, tumbuhan menyediakan oksigen, menyerap karbon dioksida, dan mendukung organisme lain dalam rantai makanan. Penyerbuk, seperti lebah dan kupu-kupu, memainkan peran penting dalam penyerbukan tanaman, memastikan reproduksi tanaman serta produksi buah dan benih. Keanekaragaman hayati yang berkurang atau terganggu dapat menyebabkan

ketidakseimbangan ekosistem. Hal ini dapat menyebabkan hilangnya spesies tertentu, penurunan jasa ekosistem, atau bahkan kehancuran ekosistem. Oleh karena itu, melindungi keanekaragaman hayati sangat penting untuk menjaga integritas dan fungsi ekosistem, yang pada gilirannya bermanfaat bagi kita dengan menyediakan udara bersih, air bersih, kesuburan lahan bersih, dan pengaturan iklim.

3. Kesehatan manusia:

Kesehatan manusia terkait erat dengan keanekaragaman hayati. Banyak obat-obatan kami, termasuk antibiotik, pereda nyeri, dan antiradang, berasal dari senyawa alami yang ditemukan pada tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme. Keanekaragaman hayati menyediakan banyak sumber potensial untuk obat dan pengobatan baru.

Selain itu, ekosistem dengan keanekaragaman hayati yang tinggi dapat membantu mengatur penyebaran penyakit. Ketika suatu ekosistem seimbang, keberadaan spesies yang beragam dapat membatasi dominasi organisme pembawa penyakit.



Gambar 6.5. Jamu, obat tradisional yang berasal dari kekayaan hayati warisan budaya Indonesia
(Sumber : Google)

Misalnya, keanekaragaman ekosistem dapat mengurangi penyebaran penyakit yang ditularkan oleh nyamuk seperti malaria dan demam berdarah. Dengan melestarikan keanekaragaman hayati dan menjaga ekosistem yang sehat, kita dapat meningkatkan kemampuan kita untuk mengendalikan dan mencegah penyebaran penyakit.

Manfaat keanekaragaman hayati sangatlah penting dan mempunyai dampak signifikan terhadap kesehatan kita. Hal ini juga dapat mendukung perekonomian melalui pariwisata dan industri farmasi, menjaga keseimbangan ekosistem, dan berkontribusi terhadap kesehatan manusia dengan menyediakan sumber obat-obatan dan modifikasi penyakit yang potensial. Melestarikan dan melindungi keanekaragaman hayati sangat penting untuk masa depan yang berkelanjutan.

6.6 Ancaman terhadap Keanekaragaman Hayati

Ancaman terhadap keanekaragaman hayati merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang paling mendesak dan mempunyai dampak jangka panjang yang signifikan. Ada beberapa ancaman besar terhadap keanekaragaman hayati di seluruh dunia, tiga ancaman besar tersebut diantaranya:

1. Deforestasi:

Dampak deforestasi terhadap keanekaragaman hayati. Deforestasi mengacu pada pembukaan hutan untuk berbagai tujuan seperti pertanian, penebangan kayu, dan perluasan kota.



Gambar 6.6. Deforestasi hutan Kalimantan
(Sumber : Google)

Praktik umum ini mempunyai konsekuensi serius terhadap keanekaragaman hayati. Hutan adalah rumah bagi jutaan spesies tumbuhan dan hewan, banyak di antaranya bersifat endemik dan hanya ditemukan di satu belahan dunia. Ketika hutan ditebangi, spesies-spesies ini kehilangan habitatnya dan seringkali tidak dapat bertahan hidup di lanskap yang berubah. Hilangnya keanekaragaman hayati akibat penggundulan hutan dapat mengganggu ekosistem secara keseluruhan, sehingga menyebabkan penurunan kesehatan dan ketahanan planet kita secara keseluruhan.

2. Perubahan iklim:

Bagaimana perubahan iklim mempengaruhi spesies dan ekosistem Perubahan iklim adalah fenomena global yang ditandai dengan peningkatan suhu, perubahan pola curah hujan, dan kejadian cuaca ekstrem. Perubahan-perubahan ini mempunyai implikasi penting bagi kelangsungan hidup dan distribusi spesies tumbuhan dan hewan.



Gambar 6.7. Polusi di kota besar, mengakibatkan perubahan iklim
(Sumber : Google)

Banyak spesies mempunyai persyaratan khusus terhadap suhu dan curah hujan, dan bahkan perubahan kecil pada kondisi ini dapat mengganggu habitat mereka. Perubahan iklim juga mempengaruhi waktu terjadinya peristiwa alam seperti pembungaan, migrasi, dan hibernasi, yang dapat menyebabkan ketidaksesuaian antara spesies dan sumber makanan atau predatornya. Gangguan seperti ini dapat berdampak terus-menerus pada keseluruhan ekosistem, yang pada akhirnya berdampak pada keanekaragaman hayati.

3. Urbanisasi:

Bagaimana pembangunan perkotaan dapat merusak keanekaragaman hayati Urbanisasi mengacu pada perluasan kota dan konversi habitat alami menjadi kawasan perkotaan. Seiring dengan pertumbuhan kota, hal tersebut mengganggu ekosistem di sekitarnya, sehingga menyebabkan hilangnya dan fragmentasi habitat.



Gambar 6.8. Padatnya stasiun kereta api oleh pendatang dari desa ke kota
(Sumber : Google)

Hilangnya habitat ini dapat menyebabkan pengusiran atau kepunahan banyak spesies. Kawasan perkotaan juga menimbulkan tekanan baru terhadap ekosistem, seperti polusi, kebisingan, dan masuknya spesies asing. Faktor-faktor ini selanjutnya dapat merusak habitat dan mengganggu proses ekologi. Selain itu, lingkungan perkotaan sering kali memprioritaskan kebutuhan manusia dibandingkan konservasi keanekaragaman hayati, sehingga menyebabkan pengabaian kawasan alami dan penurunan keanekaragaman spesies secara keseluruhan.

Dengan kondisi yang marak terjadi saat ini seperti, penggundulan hutan, perubahan iklim dan urbanisasi dapat menjadi ancaman yang sangat signifikan terhadap keanekaragaman hayati. Kegiatan-kegiatan ini tidak hanya secara langsung merugikan spesies dan habitatnya tetapi juga mengganggu ekosistem secara keseluruhan. Untuk melindungi keanekaragaman hayati, penting untuk memprioritaskan praktik penggunaan lahan berkelanjutan, mengurangi emisi gas rumah kaca untuk memerangi perubahan iklim, dan mengintegrasikan infrastruktur hijau ke dalam perencanaan kota. Dengan memerangi ancaman-ancaman ini, kita dapat

berupaya melestarikan keanekaragaman kehidupan di Bumi untuk generasi mendatang.

6.7 Upaya Pelestarian dan Perlindungan

Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati atau keragaman kehidupan di Bumi merupakan aspek penting yang perlu dilindungi dan dilestarikan. Pemerintah memainkan peran penting dalam menjaga keanekaragaman hayati melalui kebijakan dan peraturan. Langkah-langkah ini bertujuan untuk memastikan penggunaan sumber daya alam secara berkelanjutan dan konservasi ekosistem.

Aspek penting dari konservasi keanekaragaman hayati adalah konservasi spesies langka dan terancam punah. Pemerintah dapat menerapkan berbagai strategi untuk melindungi spesies ini dari kepunahan. Hal ini termasuk menciptakan kawasan lindung, menetapkan undang-undang yang melarang perburuan liar dan perdagangan satwa liar ilegal, serta mendorong program penangkaran. Dengan melestarikan spesies yang terancam punah, pemerintah berkontribusi terhadap keseimbangan dan ketahanan seluruh ekosistem.

Selain konservasi spesies, pemulihan ekosistem yang terancam merupakan aspek penting lainnya dalam konservasi keanekaragaman hayati. Aktivitas manusia seperti penggundulan hutan, polusi, dan perusakan habitat dapat berdampak serius terhadap ekosistem. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pemerintah berupaya memulihkan dan memulihkan ekosistem yang rusak. Hal ini melibatkan kegiatan seperti reboisasi, restorasi lahan basah, dan pemusnahan spesies invasif. Dengan memulihkan ekosistem, pemerintah membantu menciptakan habitat alami bagi beragam spesies dan meningkatkan kesehatan lingkungan secara keseluruhan.

Untuk melindungi dan melestarikan keanekaragaman hayati secara efektif, kerja sama antara pemerintah, LSM, dan masyarakat lokal sangatlah penting. Dengan bekerja sama, mereka dapat mengembangkan dan menerapkan kebijakan dan inisiatif yang menjamin keberlanjutan ekosistem dan konservasi spesies dalam jangka panjang.

Pada akhirnya pemerintah mempunyai peran penting dalam melestarikan dan melindungi keanekaragaman hayati. Melalui kebijakan dan peraturan, pemerintah bertujuan untuk melindungi ekosistem, melindungi spesies yang terancam punah, dan memulihkan habitat yang rusak. Namun, penting bagi seluruh pemangku kepentingan untuk berpartisipasi aktif dalam upaya ini guna memastikan pelestarian warisan alam kita dalam jangka panjang..

DAFTAR PUSTAKA

- D., S. *et al.* 2004. *Mengeksplorasi keanekaragaman hayati, lingkungan dan pandangan masyarakat lokal mengenai berbagai lanskap hutan: metode-metode penilaian lanskap secara multidisipliner, Mengeksplorasi keanekaragaman hayati, lingkungan dan pandangan masyarakat lokal mengenai berbagai lanskap hutan: metode-metode penilaian lanskap secara multidisipliner*. Center for International Forestry Research (CIFOR). Available at: <https://doi.org/10.17528/cifor/001458>.
- Kusmana, C. and Hikmat, A. 2015. 'KEANEKARAGAMAN HAYATI FLORA DI INDONESIA', *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 5(2), p. 187. Available at: <https://doi.org/10.29244/jpsl.5.2.187>.
- Lubis, D.P. 2011. 'Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Keanekaragaman Hayati di Indonesia', *JURNAL GEOGRAFI*, 3(2), pp. 107–117. Available at: <https://doi.org/10.24114/JG.V3I2.7365>.
- Mora, C. *et al.* 2011. 'How many species are there on earth and in the ocean?', *PLoS Biology*, 9(8). Available at: <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PBIO.1001127>.
- Ridhwan, M.. 2012. 'TINGKAT KEANEKARAGAMAN HAYATI DAN PEMANFAATANNYA DI INDONESIA', *Jurnal Biology Education*, 1(1). Available at: <https://doi.org/10.32672/JBE.V1I1.157>.
- Setiawan, A.- 2022. 'Keanekaragaman Hayati Indonesia: Masalah dan Upaya Konservasinya', *Indonesian Journal of Conservation*, 11(1), pp. 13–21. Available at: <https://doi.org/10.15294/IJC.V11I1.34532>.
- Sutoyo, S. 2010 'KEANEKARAGAMAN HAYATI INDONESIA Suatu Tinjauan: Masalah dan Pemecahannya', *BUANA SAINS*, 10(2), pp. 101–106. Available at: <https://doi.org/10.33366/BS.V10I2.199>.

BAB 7

ANATOMI DAN FISILOGI

Oleh Safrida

Anatomi dan fisiologi merupakan ilmu yang mempelajari tubuh manusia dan fungsinya. Tanpa keseimbangan struktur tubuh, perkembangan dan pertumbuhan manusia tidak akan berjalan sempurna, dan organ-organ tubuh tidak akan dapat berfungsi dengan baik. Sistem imun berperan penting dalam menunjang kesehatan tubuh dengan melawan organisme atau racun penyebab penyakit pada tubuh manusia. Tubuh manusia memiliki banyak keunikan yang berfungsi menjaga kesehatan organ-organnya. Studi tentang anatomi dan fisiologi sangat penting dalam bidang kesehatan, karena membantu memahami struktur dan fungsi tubuh manusia, yang sangat penting dalam mendiagnosis dan mengobati penyakit

7.1 Keajaiban Uterus (Rahim)

Uterus adalah organ reproduksi wanita yang terletak di bawah perut pada area panggul wanita. Uterus menjadi wadah pertumbuhan dan perkembangan janin selama masa kehamilan. Kehamilan merupakan periode yang menentukan kualitas manusia dimasa depan karena tumbuh kembang anak sangat ditentukan oleh kondisi janin dalam kandungan. Kebutuhan nutrisi pada saat hamil sangat penting karena dapat mempengaruhi kondisi janin dan ibu. Ibu hamil memiliki kebutuhan nutrisi yang berbeda dengan ibu yang tidak hamil, karena ibu hamil memiliki janin yang tumbuh dalam rahimnya. Kebutuhan nutrisi tidak hanya ditinjau dari segi porsi tetapi juga dilihat pada mutu zat-zat nutrisi yang terkandung dalam makanan yang dikonsumsi (Nurvembrianti et al., 2021).

Uterus merupakan organ yang mengandung otot-otot yang unik karena kemampuannya membesar sejalan dengan perkembangan janin, kantung amnion dan plasenta. Amnion adalah sistem dukungan kehidupan yang berupa kantong tipis atau amplop

berisi cairan yang jernih tempat embrio yang berkembang mengapung (Kambali, 2018). Fetus dalam kandungan dilindungi oleh plasenta dan selaput ketuban, namun tidak terlepas dari pengaruh buruk zat yang dikonsumsi induk (Setyawati et al., 2011). Selama dalam kandungan, janin bernapas dan menerima makanan melalui ari-ari (plasenta). Setelah dilahirkan plasenta akan dipotong, sehingga bayi harus bernapas dan makan dengan cara mengisap atau menelan sendiri (jannah et al., 2017). Suhu bayi di dalam rahim (intra uterin) lebih tinggi sebesar 37°C dibandingkan dengan suhu di dalam rahim seperti di ruangan normal sebesar 25°C - 27°C (Anugerah & Ritonga, 2018).

Uterus memiliki panjang 7 cm - 7,5 cm dengan lebar diatas 5,25 cm dan tebal dinding 1,25 cm. Pada masa kehamilan uterus akan mengalami pembesaran karena terjadi perengangan pada otot-otot uterus. Selama masa kehamilan uterus menjadi organ yang mampu menampung janin hingga akhir masa kehamilan. Perkembangan janin dalam uterus melalui beberapa tahapan. Tahapan awal di mulai dari pembuahan sampai usia 2 minggu yang dikenal dengan tahap germinal. Kemudian tahap kedua adalah tahap embrionik yang dimulai dari usia 2 minggu sampai 8 minggu. Tahap terakhir tahap fetal yaitu mulai dari usia 8 minggu sampai dengan kelahiran. Masing-masing tahapan tersebut terjadi perkembangan yang mempengaruhi fisik dan psikis manusia (Pratama et al., 2023).

Fase germinal merupakan kehidupan awal manusia. Pada fase ini terjadi pertemuan antara sel sperma dan sel ovum yang akan menghasilkan zigot fase ini sering disebut juga dengan fertilisasi (pembuahan). Fase ini berlangsung 10-14 hari setelah masa pembuahan yang akhirnya membentuk zigot. Proses pembuahan terjadi di dalam tuba falopi, umunya di daerah ampula atau infudibulum. Setelah peristiwa fertilisasi, zigot akan berkembang menjadi embrio yang sempurna dan embrio akan tertanam pada dinding uterus ibu (Ashar, 2015).

Memasuki tahap kedua yaitu tahap embrionik, embrio yang telah tertanam di dinding rahim mulai mengalami diferensiasi sel dan organ-organ mulai terbentuk. Embrio memiliki tiga lapisan yaitu endoderm, ektoderm dan mesoderm.

Embrio dilindungi oleh amnion (kantong yang berisi cairan). Amnion berperan dalam memberikan lingkungan dengan suhu terkendali dan tahan guncangan. Tahapan embrio merupakan proses terbentuknya organ-organ tubuh (organogenesis) sehingga menjadi tahapan yang sangat rentan dalam perkembangan janin, karena bila tidak dijaga dengan baik maka akan mengakibatkan kecacatan fisik dan tidak sempurnanya pembentukan janin (Sipayung, 2023).

Tahap terakhir yaitu tahap janin (fetus) berlangsung dari awal bulan ke tiga sampai sembilan bulan kandungan. Pada masa ini, janin berkembang cepat dan mulai terlihat jelas bagian-bagian tubuhnya. Berat janin sekitar 1-1,5 kg dan uterus semakin membesar sampai berada dibawah tulang susu. Uterus menekan keatas ke arah diafragma dan tulang panggul. Hal ini sering membuat ibu hamil merasa sesak dan kesulitan pencernaan (Qulub, 2016).

7.2 Keajaiban Kulit

Kulit merupakan organ terluas penyusun tubuh manusia yang membantu menutupi otot, tulang dan semua bagian tubuh sekaligus merupakan organ terberat dan terbesar dari tubuh manusia yang meliputi 16% berat tubuh. Pada orang dewasa, sekitar 2,7 hingga 3,6 kg berat tubuhnya merupakan kulit dengan luas sekitar 1,5-1,9 meter persegi (Sari, 2015). Karena letaknya paling luar, maka kulit yang pertama kali menerima rangsangan seperti rangsangan sentuhan, rasa sakit, maupun pengaruh buruk dari luar. Fungsi kulit antara lain untuk melindungi permukaan tubuh, memelihara suhu tubuh dan mengeluarkan kotoran-kotoran tertentu. Kulit manusia pada umumnya memiliki tiga lapisan secara struktural yaitu lapisan epidermis, dermis, dan jaringan subkutan (Hidayat & Sukmaindrayana, 2017).

Lapisan epidermis merupakan lapisan permukaan kulit yang berfungsi untuk pertahanan dari kerusakan eksogen seperti zat polutan dan sinar matahari, mencegah infeksi dan meregulasi suhu tubuh. Lapisan epidermis tebalnya 75-150 μm , kecuali pada telapak tangan dan kaki yang berukuran lebih

tebal. Sedangkan pada lapisan dermis terdiri dari dua lapisan jaringan ikat yang batasnya kurang jelas, yaitu lapisan papiler dan retikuler. Ketebalan dermis bervariasi di berbagai tempat tubuh, biasanya 1-4 mm (Sari, 2015). Selain itu lapisan dermis tersusun dan diperkuat oleh *extracellular matrix* (ECM) dimana salah satu komponen utama dari ECM adalah kolagen. Masing-masing jenis kolagen memiliki peran fungsional penting yang berbeda di kulit. Kolagen tipe I dan III merupakan kolagen utama yang berfungsi membentuk serat pada dermis manusia. Kolagen tipe I juga memperkuat dermis kulit sehingga berperan dalam mempertahankan integritas kulit. Lapisan terakhir kulit yaitu lapisan hipodermis atau subkutis tersusun dari lemak dan beberapa komponen kulit seperti folikel rambut, neuron sensorik, dan pembuluh darah. Ketiga lapisan kulit inilah yang menyusun lapisan pertahanan kulit dan mencegah kerusakan bagian dalam tubuh manusia (Prakoeswa & Sari, 2022).

Kulit terdiri dari jutaan sel kulit, sel kulit manusia dapat mengalami kematian dan selanjutnya digantikan dengan sel kulit baru. Sel kulit manusia yang masih hidup akan terlihat cerah sedangkan sel kulit mati akan terlihat lebih gelap. Lapisan-lapisan kulit akan terus menerus mengalami pergantian sel, diperkirakan setiap hari manusia mengalami kehilangan sel kulit sebanyak 250 gr dan selalu diimbangi dengan pembentukan sel kulit baru. Proses pergantian sel kulit ini mulai dari pembelahan sel sampai dengan pelepasan sel diperlukan 14-28 hari untuk proses pembelahan sel serta diferensiasi atau pematangan (Setiawan et al., 2013).

Dermatoglifi berasal dari bahasa Yunani, terdiri atas kata *derma* yang berarti kulit, dan *glyphe* yang berarti lekukan. Dermatoglifi diartikan sebagai gambaran dari sulur dan pola sulur yang terdapat pada jari tangan, telapak tangan, jari kaki dan telapak kaki. Pada awalnya dermatoglifi digunakan sebagai alat untuk mengidentifikasi seseorang. Hal ini disebabkan ukuran, bentuk dan struktur rinci sulur epidermis bervariasi pada setiap individu, serta pola sulur dapat dikelompokkan menjadi beberapa tipe pola dasar (Hasanah et al., 2022).

Secara anatomi dermatoglifi akan membuat permukaan kasar pada telapak jari tangan, telapak kaki dan jari kaki yang berfungsi dalam membantu proses memegang atau berpijak sehingga tidak tergelincir. Pembentukan dermatoglifi dimulai dengan proliferasi sel epitel basal epidermis volar pada sekitar minggu ke-10 sampai minggu ke-11 kehamilan. Sel-sel kemudian membentuk lipatan-lipatan dan menjadi rigi epidermis. Pada bulan keenam kehamilan pembentukan dermatoglifi berakhir sepenuhnya (Fajrin & Nurina, 2011). Sidik jari adalah bagian dari struktur genetik pada saat membentuk seperti sistem anatomi yang sempurna dengan indikasi yang memiliki khas bagi manusia yang tidak akan berubah. Sidik jari memiliki sifat konstan dan memang tidak dapat berubah hingga akhir hayat (Jayanti et al., 2023).

Sidik jari manusia merupakan bukti materi yang amat penting. Tak ada sidik jari yang identik di dunia ini sekalipun di antara dua saudara kembar. Dalam dunia sains pernah dikemukakan, jika ada 5 juta orang di bumi, kemungkinan munculnya dua sidik jari manusia yang sama baru akan terjadi lagi 300 tahun kemudian. Sidik jari adalah bentuk alur garis pada bagian ujung jari telapak tangan manusia yang membentuk pola-pola tertentu. Dua buah sidik jari yang berasal dari satu sumber akan memiliki pola sidik jari yang terbentuk dalam embrio tidak pernah diturunkan. Bila jari seseorang mengalami luka seperti tergores atau sobek maka sidik jari yang tergores tersebut akan kembali seperti sedia kala. Sidik jari seseorang tidak akan berubah selama hidupnya dan hanya akan berubah jika seseorang telah meninggal dunia dan terjadi proses penguraian (Ranadhi, 2006).

7.3 Keajaiban Otak

Sistem saraf merupakan sistem kompleks yang mengatur dan mengkoordinasi seluruh aktivitas tubuh manusia. Otak merupakan bagian dari sistem saraf pusat atau *central nervous system* (CNS) yang terletak dalam tulang tengkorak dan terhubung melalui tulang belakang. Otak terbagi menjadi dalam beberapa bagian antara lain, otak besar, otak kecil, dan bagian batang otak

(Taufiq et al., 2022). Otak manusia terdiri dari dua bagian yaitu otak kanan dan otak kiri. Masing-masing belahan otak memiliki spesialis dalam kemampuan-kemampuan tertentu. Pemrosesan informasi oleh otak dianalogikan layaknya komputer, dimana ada input dan penyimpanan informasi didalamnya (Sukmawati, 2022).

Otak menjadi salah satu bagian organ tubuh yang memiliki pengaruh besar bagi tubuh. Otak berperan sebagai pusat koordinasi yang setiap detiknya mengirimkan perintah keseluruh organ tubuh, melalui saraf-saraf yang terhubung ke seluruh bagian tubuh. Kecepatan saraf dalam mengirimkan dan menerima informasi antar otak dan organ terjauh dari otak hanya membutuhkan waktu 0,01 detik, artinya tingkat kecepatan kerja saraf mencapai 20-200m/detik. Sistem saraf akan saling berinteraksi dan otak menerima dan mengirim pesan secara kontinu. Jika interaksi tersebut terhenti maka akan menimbulkan ketidaknormalan tubuh. Ketidaknormalan tersebut bisa jadi penyakit dan kecacatan (Nasruddin & Muiz, 2020).

Otak manusia terdiri dari sel syaraf yang disebut neuron. Terdapat 10-20 miliar neuron didalam otak. Jika diibaratkan neuron ini sebagai prosesor kecil maka otak adalah sebuah komputer dengan banyak prosesor (Alimin, 2020). Otak diciptakan dengan beberapa keunggulan yang luar biasa daripada anggota tubuh lainnya. Dikutip dari Rakhmat 2010 berikut data otak manusia:

Tabel 7.1. Data Otak Manusia

No.	Data Otak
1	Kira-kira beratnya 1,5 kg
2	78% air, 10% lemak, 8% protein
3	Kurang dari 2,5% berat tubuh
4	Menggunakan 20% energi tubuh (sekitar 400 kalori)
5	100 miliar sel neuron
6	1 triliun sel glia
7	1000 triliun titik sambungan sinaptik
8	280 kuintiliun memori

Albert Einstein seorang ilmuwan pada abad ke-20 memiliki volume otak yang sama dengan rata-rata orang dewasa 1,4 kg

secara fisik tidak ada bedanya, baik dari segi warna maupun bentuk begitu juga dengan jumlah sel-sel neuron otaknya. Namun, setelah melakukan penelitian lebih lanjut diketahui bahwa sel-sel neuron Albert Einstein banyak yang sudah terkoneksi yaitu tidak lebih dari 3% dari keseluruhan jumlah sel neuron. Sel-sel neuron pada otak dapat saling berkoneksi dengan cara giat belajar. Semakin banyak belajar, membaca, berdiskusi, mengamati dan menganalisis maka banyak pula koneksi-koneksi sel neuron di otak kita (Waluyo, 2014). Tidak seperti organ tubuh lain yang semakin tua kian rusak. Otak justru semakin tua semakin menunjukkan fungsi yang kian luas dan kompleks dan terjadi peningkatan interkoneksi antar sel saraf (neuron). Karena pengalaman hidup makin banyak dan makin padat dalam otak manusia. Sehingga otak menjadi salah satu organ yang menyimpan seluruh catatan kehidupan (Kusumawati, 2008).

Memori merupakan komponen utama dalam serangkaian proses informasi yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan semua pesan, baik pesan baru ataupun lama dan yang akan diterima oleh setiap individu dalam kurun waktu yang lama bahkan seumur hidup. Segala kegiatan manusia baik dari aspek pengetahuan, sikap dan keterampilan selalu melibatkan ingatan atau memori. Oleh karena itu memori memiliki peranan penting bagi semua proses kegiatan manusia, karena pada saat itu otak manusia sedang melakukan tugasnya (Risda et al., 2023).

Memori jangka panjang menyimpan sejumlah informasi yang hampir tak terbatas yang berisikan persepsi dan ide-ide baru maupun kehidupan di masa lalu. Memori jangka panjang diibaratkan seperti *hard disk* besar dari sebuah komputer raksasa, dimana berisikan informasi tidak terbatas dan tersimpan seumur hidup. Dalam memori tersebut kita mampu membangun ide-ide dan pengalaman serta menunjukkan kembali informasi ketika dibutuhkan. Membuat sesuatu menjadi lebih menarik mampu meningkatkan kemampuan otak dalam mengingat karena memicu sel-sel otak dalam membuat koneksi lebih banyak (Waluyo, 2014).

7.4 Keajaiban Mata

Mata merupakan indera dan organ optik yang berfungsi untuk mengumpulkan cahaya dari lingkungan sekitarnya. Secara garis besar anatomi mata terdiri dari kornea, pupil, lensa dan retina. Lapisan kornea merupakan lapisan transparan yang menutupi bola mata dengan bentuk mendekati bola berjari-jari 7,7 mm. Kornea berperan besar dalam pembelokan sinar yang masuk ke mata (Mahardika & Himayani, 2019). Pupil merupakan lingkaran di iris yang membentang menyinggung ke permukaan depan lensa. Pupil berfungsi untuk mengontrol cahaya masuk dengan cara membesar atau mengecil sesuai jumlah cahaya yang masuk. Proses masuknya cahaya ke dalam mata akan melewati sebuah lensa jernih, lalu jatuh ke selaput jala (retina) sebelum menerobos cairan jernih (vitreous humor) yang berfungsi menaga bentuk mata tetap bulat. Cahaya yang terjaring oleh retina akan dibentuk menjadi sebuah gambar yang jelas dan kemudian diubah menjadi serangkaian sinyal yang dikirim ke otak (Iliyya, 2020).

Selain itu, penglihatan manusia mampu beroperasi pada 180 derajat pada posisi horizontal dan 145 derajat pada posisi vertikal. Gelombang cahaya pada penglihatan selalu berada pada garis lurus, jika terhalang maka tidak mampu bekerja (Iliyya, 2020). Cahaya tampak dilihat oleh mata karena panjang gelombangnya mampu diterima oleh fotoreseptor mata. Panjang gelombang cahaya berkisar antara 0,2 μm sampai dengan 0,5 μm (Hamid & Adi, 2015). Mata manusia memiliki 3 reseptor penerima cahaya yaitu reseptor yang peka terhadap cahaya biru, merah dan hijau. Seluruh penglihatan warna didasarkan pada ketiga reseptor tersebut. Melalui ketiga reseptor tersebut pada retina maka kita dapat melihat semua warna dan membedakannya (Mirza & Firdaus, 2016).

Sistem forensik Indonesia saat ini telah meniti jejak ke arah bagian panca indra salah satunya bola mata. Pada mata terdapat bagian khusus untuk melakukan pengenalan terhadap sistem forensik yang mempunyai pola yaitu iris. Ciri iris merupakan salah satu ciri yang disimpan pada KTP Elektronik yang akan diimplementasikan secara nasional (Heksaputra et al., 2015). Iris atau disebut juga dengan selaput pelangi terletak

di antara kornea mata dan lensa mata yang berfungsi sebagai pengontrol intensitas atau jumlah cahaya yang masuk dengan melakukan pembesaran dan pengecilan pupil. Iris pada setiap manusia berbeda-beda bahkan pada satu individu memiliki tekstur iris mata berbeda antara sebelah kanan dan sebelah kirinya. Meskipun sama fungsinya dengan sidik jari, iris memiliki kelebihan tersendiri dalam proses pengenalnya, karena terletak di dalam mata dan terlindungi oleh kelopak mata serta memiliki pola yang unik dikarenakan tekstur yang dimiliki iris seperti bintik-bintik garis dan kerutan (Rivan & Devella, 2020).

Selain itu, mata juga menjadi objek utama dalam penciptaan foto. Pada dasarnya fungsi kerja iris pada bagian kornea sama dengan diafragma lensa pada dunia fotografi. Bagian ini berfungsi mengatur jumlah cahaya yang masuk ke mata dengan cara mengubah ukuran pupil (Happy & Vetdiana, 2017). Sistem optik mata memiliki kemampuan khusus yang sebagian besarnya tidak bisa ditandingi bahkan pada kamera mahal sekalipun. Mata dapat mengamati kejadian pada sudut pandang besar yang terletak tepat didepannya. Pada mata terdapat sistem pemfokusan otomatis cepat yang memungkinkan kita melihat benda sampai sedekat 20 cm dalam waktu 1 detik dan melihat benda jauh dalam jarak tak hingga. Mata juga dapat bekerja secara efektif dalam menerima cahaya dengan rentang intensitas cahaya yang sangat lebar yaitu sekitar 10 miliar baik pada siang hari yang terik sampai malam gelap gulita. Selain itu, berkedip merupakan alat pembersih dan pelumas *built-in* (yang terpasang tetap dan siap pakai) bagi lensa depan (kornea) (Wati, 2015).

Kedipan mata adalah suatu kondisi bawah sadar dimana terjadinya perubahan kondisi kelopak mata dari keadaan tertutup menuju keadaan terbuka secara sangat cepat. Pada umumnya orang dewasa berkedip 10 sampai 15 detik kedipan pada satu menit, sedangkan anak-anak memiliki tingkat kedipan yang lebih rendah. Tingkat kedipan seseorang dapat ditingkatkan karena ada angin kencang, kondisi udara kering, maupun dari emosional. Durasi berkedip tergantung pada

individu, biasanya sekitar 100-400 ms. Tujuan utama dari kedipan adalah untuk melembabkan kornea mata dan membersihkan daerah kornea mata pada saat bulu mata tidak dapat menangkap semua debu dan kotoran yang masuk ke mata (Daryanto et al., 2021). Air mata adalah bagian dari organ mata yang dihasilkan oleh kelenjar lakrimal yang terletak di daerah temporal bola mata. Air mata berfungsi untuk melicinkan permukaan kornea, melindungi mata dari pertumbuhan mikroorganisme dan menjaga ketajaman penglihatan (Rahmadilla, 2020).

7.5 Keajaiban Telinga

Telinga merupakan salah satu panca indra yang berfungsi untuk mendengar bunyi. Pada telinga bagian luar terdapat daun telinga yang berfungsi untuk menangkap getaran bunyi. Daun telinga berbentuk seperti corong yang siap menampung bunyi yang datang. Gendang telinga atau disebut juga dengan selaput pendengaran akan bergetar ketika menerima bunyi. Bunyi tersebut akan diteruskan oleh gendang telinga ke bagian telinga lebih dalam yaitu tulang-tulang pendengar. Tulang-tulang pendengar di dalam telinga yaitu tulang martil, tulang landasan dan tulang sanggurdi akan ikut bergetar setelah gendang telinga digetarkan oleh bunyi. Getaran bunyi yang masuk akan merangsang ujung saraf pendengaran. Kemudian rangsangan akan disampaikan ke otak dan akhirnya kita dapat mendengar (Ahyuna & Arwansyah, 2017). Maka, dengan mendengar suara manusia mampu mengenali berbagai objek yang mengeluarkan suara. Contohnya ketika seseorang mendengar sesuatu yang berkicau, maka manusia akan berfikir bahwa hal demikian adalah suara burung (Falah, 2023). Manusia mampu mendengar suara sampai ke telinganya dari berbagai arah dan ketinggian. Pendengaran mampu bekerja 360 derajat. Gelombang suara dapat berjalan dari semua arah dan melewati seluruh sisi yang dilewatinya (Iliyya, 2020).

Pendengaran adalah persepsi saraf mengenai energi suara. Seseorang menerima suara berupa getaran pada gendang telinga dalam daerah frekuensi pendengaran manusia. Telinga manusia dapat mendengar bunyi antara 20 Hz hingga 20 KHz

(20.000 Hz) sesuai batasan sinyal audio. Karena pada dasarnya sinyal audio adalah sinyal yang dapat diterima oleh telinga manusia. Jangkauan frekuensi pendengaran manusia dapat mengalami penurunan pada batas atas rentang frekuensi sejalan dengan bertambahnya umur manusia. Jangkauan frekuensi audio manusia akan berbeda jika umur manusia juga berbeda (Siahaan et al., 2018). Suara yang didengar manusia mengalami perubahan dari sinyal akustik yang bersifat mekanik menjadi sinyal listrik yang diteruskan saraf pendengaran ke otak. Proses mendengar tentunya tidak lepas dari organ pendengaran manusia yakni telinga (Irawati, 2012).

Jika telinga manusia hanya dapat mendengar frekuensi dalam jangkauan 20 Hz- 20 KHz (ulfrasonik), beberapa hewan dapat mendengar dengan frekuensi di atas 20 KHz (ultrasonik). Banyak hewan yang dapat mendengar frekuensi ultrasonik misalnya anjing, kelelawar dan lumba-lumba. Kelelawar dan lumba-lumba dapat mendeteksi suara hingga 100 KHz, anjing dapat mendengar setinggi 50 KHz (Feidihal, 2007). Kelelawar merupakan salah satu mamalia yang memiliki indra pendengaran tajam. Kelelawar mengeluarkan suara dari mulut atau hidung dengan frekuensi getaran suara yang sangat tinggi (ultrasonik) rata-rata 50 KHz. Jika gelombang tersebut mengenai benda, maka suara tersebut akan dipantulkan kembali sebagai gema suara yang selanjutnya diterima oleh telinga kelelawar, sehingga jarak dan ukuran benda target dapat diketahui dengan jelas dan tergambar nyata (Syukri et al., 2018).

7.6 Simpulan

Keajaiban anatomi dan fisiologi manusia sangat unik. Keajaiban otak yakni memiliki kemampuan untuk menghambat impuls nyeri, sehingga seseorang dapat merasa nyaman dan rileks dalam kondisi tertentu. Keajaiban Uterus diantaranya uterus memiliki kemampuan untuk mengalami involusi, yaitu proses pengembalian keadaan semula setelah melahirkan. Keajaiban mata yakni memiliki kekuatan penyembuh yang luar biasa. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa melihat gambar-gambar alam yang indah dapat membantu pemulihan

pasien yang sedang sakit. Otot-otot di sekitar mata adalah yang paling aktif di seluruh tubuh. Otot-otot ini bekerja secara terus-menerus untuk menggerakkan bola mata dan memfokuskan pandangan kita. Mata terus tumbuh sepanjang hidup kita. Meskipun pertumbuhan ini sangat lambat, tetapi fakta ini menunjukkan keajaiban dalam proses regenerasi dan pemeliharaan mata. Bayi tidak mengeluarkan air mata saat menangis. Air mata pada bayi baru lahir belum sepenuhnya berkembang, dan mereka hanya mengeluarkan air mata saat mereka berusia sekitar tiga minggu. Mata manusia memiliki teknologi yang luar biasa dalam hal penglihatan dan persepsi warna[3]. Mata dapat membedakan lebih dari 10 juta warna yang berbeda. Mata manusia memiliki kemampuan untuk melihat objek yang sangat jauh dan sangat dekat dengan bantuan lensa yang dapat berubah bentuk. Kemampuan ini memungkinkan kita untuk melihat dunia dengan detail yang luar biasa. Keajaiban Telinga manusia memiliki fungsi utama sebagai indera pendengaran. Dengan adanya telinga, kita dapat memahami dan menafsirkan berbagai suara. Telinga tidak hanya berfungsi sebagai alat pendengaran, tetapi juga mampu menyeimbangkan tubuh.

DAFTAR PUSATAKA

- Ahyuna & Arwansyah. 2017. Visualisasi Pengenalan Pancaindra Berbasis *Augmented Reality* dalam mendukung Mata Pelajaran IPA tingkat Sekolah Dasar. *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia*, 5(1), 4-6.
- Al Rivan, M. E., & Devella, S. 2020. Pengenalan Iris menggunakan Fitur *Local Binary Pattern* dan *RBF Calssifier*. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 11(1), 97-106.
- Alimin, E. K. 2020. Matematika sebagai Sebuah Bahasa. *Jurnal Mitra Manajemen*, 5(1), 64-68.
- Anugerah, D. E., & Ritonga, N. 2018. Pengaruh Terapi Sentuh terhadap Peningkatan Suhu Tubuh pada Bayi Baru Lahir Normal. *Jurnal Penelitian Kebidanan dan Kespro*, 1(1), 1-5.
- Ashar, A. 2015. Pemindahan Embrio ke Rahim Wanita Lain dalam Perspektif Hukum Islam dan Hukum Positif. *Mazahib*, 14(1), 77-88.
- Daryanto, A. V., Yuniarno, E. M., & Zaini, A. 2021. Perhitungan Frekuensi Kedipan Mata Berbasis *Convolutional Neural Network*. *Jurnal Teknik ITS*, 10(1), 15-20.
- Fajrin, T., & Nuryana, A. F. 2011. Analisis Sistem Presensi dengan Sidik Jari Siswa SMK Negeri 2 Karanganyar. *Speed-Sentra Penelitian Engineering dan Edukasi*, 3(3), 78-83.
- Falah, M. Z. N. 2023. Mendengar dalam Al-Qur'an: Studi Analisis tentang Keistimewaan As-Sam'u dalam QS. An-Nahl [16]: 78 Perspektif Tafsir Al-Jawahir. *Al-Fanar: Jurnal Ilmu Al-Qur'an dan Tafsir*, 6(1), 107-118.
- Feidihal. 2007. Tingkat Kebisingan dan Pengaruhnya terhadap Mahasiswa di Bengkel Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang. *Jurnal Teknik Mesin*, 4(1), 31-41.
- Firdaus, A. 2016. Light Dependent Resistant (LDR) sebagai Pendeteksi Warna. *JUPITER (Jurnal Penelitian dan Teknologi Komputer)*, 8(1), 39-45.
- Hamid, N., & Adi, K. 2015. Penentuan Tingkat Buta Warna dengan Metode Segmentasi Ruang Warna Fuzzy dan Rule-Based Forward Chaining pada Citra Ishihara. *Youngster Physic Journal*, 4(2), 211-218.

- Happy, H. R. D., & Verdiana, E. O. 2017. *Can You See What I See*, Mata sebagai Objek Penciptaan Seni Fotografi Ekspresi. *Jurnal Kajian Seni*, 3(2), 150-164.
- Hasanah, H., Donza, F. F., Tazri, M. I., & Salsabilla, V. 2022. Rasio Pola Sulur (Dermatoglifi) antara Mahasiswa Biologi (FMIPA) dengan Mahasiswa Seni Rupa (FBS) yang Berkaitan dengan Hobi Melukis. In *Prosiding SEMNAS BIO UIN Syarif Hidayatullah Jakarta*, 2(2), 686-695.
- Heksaputra, D., Wijaya, D. P., & Nilawati, S. 2015. Perbaikan Kualitas Citra Iris Mata untuk Pengenalan Pola (*Biometric*). *Jurnal Khazanah*, 7(2), 11-23.
- Hidayat, A., & Sukmaindrayana, A. 2017. Implementasi Logika Fuzzy untuk Prediksi Penyakit Kulit. *Jurnal Teknik Informatika*, 3(2), 1-10.
- Iliyya, A. M. 2020. I'jaz 'Ilmy Al-Qur'an dalam Penggunaan Kata Sama'dan Basar. *Refleksi*, 19(1), 47-68.
- Irawati, L. 2012. Fisika Medik Proses Pendengaran. *Majalah Kedokteran Andalas*, 36(2), 155-162.
- Jannah, M., Yacob, F., & Julianto, J. 2017. Rentang Kehidupan Manusia (*Life Span Development*) dalam Islam. *Gender Equality: International Journal of Child and Gender Studies*, 32(1), 97-114.
- Jayanti, U. N. A. D., Abang, M., R., Thahira, N., Lubis, N. S. A. A., & Roji, F. 2023. Identifikasi Populasi Pola Sidik Jari di Lingkungan II, kelurahan Tembung. *BIO EDUCATIO: (The Journal of Science and Biology Education)*, 8(1), 69-74.
- Kambali, K. 2018. Pertumbuhan dan Perkembangan Emosional serta Intelektual di Masa Prenatal. *Risalah, Jurnal Pendidikan dan Studi Islam*, 4(2), 129-148.
- Kusumawati, R. 2008. Kecerdasan Buatan Manusia (*Artificial Intelligence*); Teknologi Impian Masa Depan. *Ulul Albab Jurnal Studi Islam*, 9(2), 257-274.
- Mahardika, N. P., & Himayani, R. R. 2019. Ulkus Kornea Cum Hipopion Berhubungan Trauma Tumbuhan pada Mata. *Jurnal Agromedicine*, 6(1), 206-220.

- Mashudi, A. 2013). Pengembangan Media Model Mata Manusia untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep Optik. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 2(1), 93-101.
- Nasruddin, M., & Muiz, A. 2018. Tinjauan Kritis Neurosains terhadap Konsep Qalb Menurut Al-Ghazali. *Jurnal UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, 4(2), 70-87.
- Nurvembrianti, I., Purnamasari, I., & Sundari, A. 2021. Pendampingan Ibu Hamil dalam Upaya Peningkatan Status Gizi. *Jurnal Inovasi dan Terapan Pengabdian Masyarakat*, 1(2), 50-55.
- Prakoeswa, F. R. S., & Sari, W. A. 2022. Penuaan Kulit dan Terapi yang Aman Bagi Geriatri: Artikel Review Skin aging and It's Safe Management for Geriatrics: Review Article. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 4(5), 557-568.
- Pratama, R., Cholifah, M., Suryana, E., & Abdurrahmansyah, A. 2023. Perkembangan Janin dalam Kandungan dan Implikasinya dalam Pendidikan. *JlIP- Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 6(9), 6877-6884.
- Qulub, S. T. 2016. Pembentukan Kualitas Anak pada 1000 Hari Pertama Kehidupan Perspektif Hukum Islam. *Al-Jinayah: Jurnal Hukum Pidana Islam*, 2(2), 472-496.
- Rahmadilla, A. P. 2020. Hubungan Pemakaian Lensa Kontak (*Soft Contact Lens*) dengan *Dry Eye Syndrome*. *Jurnal Medika Utama*, 2(10), 271-277.
- Rakhmat, J. 2010. *Belajar Cerdas*. Bandung: Kaifa.
- Ranadhi, D., Indarto, W., & Hidayat, T. 2006. Implementasi Learning Vector Quantization (LVQ) untuk Pengenal Pola Sidik Jari pada Sistem Informasi Narapidana LP Wirogunan. *Media Informatika*, 4(1), 51-65.
- Risda, R., Septriwinti, F. J., & Nasution, F. 2023. Pendekatan Pemrosesan Informasi. *Mudabbir Journal Reserch and Education Studies*, 3(1), 49-59.
- Sari, M. A. 2015. Antioksidan Alternatif untuk Menangkal Bahaya Radikal Bebas pada Kulit. *Elkawanie: Journal of Islamic Science and Technology*, 1(1), 63-68.

- Setiawan, F. A., Wijono, & Sunaryo. 2013. Sistem Cerdas Penghitung Sel Kulit Mati Manusia dengan Metode *Improved Counting Morphology*. *Jurnal EECCIS*, 7(1), 28-34.
- Setyawati, I., Yulihastuti, D. A., & Hewan, L. f. 2011. Penampilan Reproduksi dan Perkembangan Skeleton Fetus Mencit Setelah pemberian Ekstrak Buah Nanas Muda. *Jurnal Veteriner*, 12(3), 129-199.
- Siahaan, J., Syarif, Y., & Siregar, F. 2018. Rancangan Power Amplifier untuk Alat Pengukur Transmission Loss Material Akustik dengan Metode Impedance Tube. *Journal of Electrical and System Control Engineering*, 1(2), 55-59.
- Sipayung, A. S. 2023. Perkembangan (Kognitif, Fisik-Motorik, Sosio, Emosional) dan Penanaman Nilai Agama pada Masa Prnatal. *Jurnal Manajemen dan Pendidikan Dasar*, 3(3), 220-233.
- Sukmawati, H. 2022. Pembelajaran dalam Memanfaatkan Potensi Otak. *Ash-Shahabah: Jurnal Pendidikan dan Studi Islam*, 8(1), 22-26.
- Syukri, A. F., Setiawan, A., & Yustian, I. 2018. Inventarisasi Kelelawar (Chiroptera) di Kawasan Karst Gua Putri Kabupaten Ogan Komering Ulu Provinsi Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Sains*, 20(2), 58-62.
- Taufiq, M. Z., Suryanto, T., Firdayanti, N., & Fadillah, N. 2022. Penerapan Teknologi Augmented Reality pada Pembelajaran Sistem Saraf Bagian Otak. *Jurnal ELIT*, 3(2), 48-57.
- Waluyo, M. E. 2014. Revolusi Gaya Belajar untuk Fungsi Otak. *Nadwa: Jurnal Pendidikan Islam*, 8(2), 209-228.
- Wati, W. 2015. Analisis Fisika Terbentuknya Bayangan pada Mata. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 4(2), 285-297.

BAB 8

REPRODUKSI DAN PERKEMBANGAN

Oleh Zulkarnaim

8.1 Pendahuluan

Setiap individu yang hidup pasti akan tiba saatnya dimana kekuatan untuk melakukan fungsi-fungsi tubuh akan terus menurun. Namun sebelum individu mati, ada kesempatan membentuk individu baru yaitu kemampuan reproduksi atau berkembang biak. Kemampuan reproduksi tidak hanya terjadi pada manusia saja, melainkan semua jenis makhluk hidup di muka bumi, termasuk hewan dan tumbuhan. Dengan kemampuan inilah makhluk hidup dapat mempertahankan jenisnya dan tidak punah.

Kehadiran kita sebagai salah satu makhluk hidup di muka bumi saat ini berasal dari siklus hidup yang berlangsung sangat lama. Kemampuan bereproduksi atau berkembang biak mengakibatkan kehidupan makhluk hidup dapat berlanjut. Umur individu makhluk hidup dapat saja pendek, tetapi umur spesies makhluk hidup dapat berlangsung panjang atau lama bahkan jutaan tahun oleh karena adanya reproduksi yang melibatkan pewarisan. Pewarisan bermakna adanya transmit instruksi atau kode genetik yang diberikan orang tua kepada anaknya atau keturunannya. Bereproduksi diartikan sebagai upaya untuk mewariskan kode genetik yang biasanya ada pada DNA atau *deoksiribonukleat acid* dengan cara menduplikasi sifat yang akan diturunkan. Upaya untuk mewariskan sifat ini dapat dilakukan dengan proses perkawinan.

Biologi Reproduksi menguraikan masalah reproduksi dan perkembangan yang terdapat pada makhluk hidup. Reproduksi atau perkembangbiakan merupakan proses dimana suatu organisme menghasilkan individu baru dari spesies yang lama. Makhluk hidup dalam perkembangbiakannya dibagi menjadi dua yaitu perkembangbiakan secara asexual atau vegetatif dan perkembangbiakan secara seksual atau generatif.

Biologi perkembangan modern mempelajari kontrol genetik pertumbuhan sel, diferensiasi sel, dan morfogenesis, yang merupakan proses yang menimbulkan jaringan, organ dan anatomi. Embriologi merupakan subbidang, studi organisme antara tahap 1 sel (umumnya, zigot) dan akhir tahap embrio. Embriologi awalnya merupakan ilmu yang lebih deskriptif sampai abad ke-20. Embriologi dan biologi perkembangan kini menghadapi bermacam-macam langkah yang diperlukan untuk pembentukan badan organisme hidup yang benar dan sempurna.

Penemuan biologi perkembangan dapat membantu memahami malfungsi perkembangan seperti aberasi kromosom, sebagai contoh, *Syndrome Down*. Pengertian spesialisasi sel selama embriogenesis yang dapat melindungi informasi pada bagaimana mengkhususkan sel batang pada jaringan dan organ yang spesifik, yang dapat menimbulkan kloning spesifik organ untuk tujuan medis. Proses penting secara biologis lainnya yang terjadi selama perkembangan ialah apoptosis atau dikenal dengan istilah bunuh diri sel. Untuk alasan ini, banyak model pengembangan digunakan untuk menguraikan fisiologi dan dasar molekul proses selular ini.

Pembahasan berikut diawali dari reproduksi dan perkembangan sel hewan. Hal ini penting diketahui mengingat sel merupakan struktur dan fungsi terkecil dari makhluk hidup.

8.2 Reproduksi dan Perkembangan Sel

8.2.1 Siklus sel

Dalam siklus reproduksi selalu ada pertumbuhan dan perkembangan. Pertumbuhan merupakan proses penambahan ukuran (volume, massa, atau dimensi tertentu) yang berlangsung di dalam organisme, misalnya hewan kecil menjadi hewan yang besar. Sedangkan perkembangan merupakan suksesi dari perubahan yang berlangsung di dalam organisme, misalnya sel telur yang dibuahi berkembang menjadi hewan dewasa (mengarah kepada pendewasaan). Pertumbuhan dan perkembangan sel tidak lepas dari siklus kehidupan yang dialami sel untuk tetap bertahan hidup. Siklus ini mengatur pertumbuhan sel dengan meregulasi waktu pembelahan dan mengatur perkembangan sel dengan mengatur

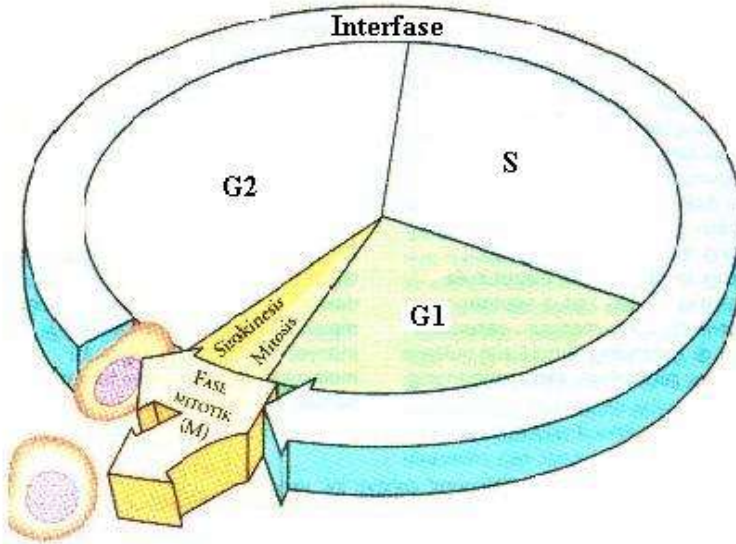
jumlah ekspresi atau translasi gen pada masing-masing sel yang menentukan diferensiasinya.

Siklus sel adalah proses duplikasi secara akurat untuk menghasilkan jumlah DNA kromosom yang cukup banyak dan mendukung segregasi untuk menghasilkan dua sel anakan yang identik secara genetik. Proses ini berlangsung terus-menerus dan berulang (siklik) proses ini disebut gametogenesis terdiri atas pembentukan gamet jantan (spermatogenesis) dan pembentukan gamet betina (oogenesis).

Fase siklus sel terdiri atas: (1) Fase S (sintesis) merupakan tahap terjadinya replikasi DNA, (2) Fase M (mitosis) adalah tahap di mana terjadi pembelahan sel (baik pembelahan biner atau pembentukan tunas), dan (3) Fase G (gap) merupakan tahap pertumbuhan bagi sel. Terkhusus Fase G dibedakan atas:

1. Fase G_0 , sel yang baru saja mengalami pembelahan berada dalam keadaan diam atau sel tidak melakukan pertumbuhan maupun perkembangan. Kondisi ini sangat bergantung pada sinyal atau rangsangan baik dari luar atau dalam sel. Umum terjadi dan beberapa tidak melanjutkan pertumbuhan (dorman) dan mati.
2. Fase G_1 , sel eukariot mendapatkan sinyal untuk tumbuh, antara sitokinesis dan sintesis.
3. Fase G_2 , pertumbuhan sel eukariot antara sintesis dan mitosis.

Fase siklus sel tersebut berlangsung dengan urutan $S > G_2 > M > G_0 > G_1 >$ kembali ke S. Dalam konteks Mitosis, fase G dan S disebut sebagai Interfase.



Gambar 8.1. Siklus sel

8.2.2 Regenerasi dan Diferensiasi Sel

Saat sebuah sel tunggal, yaitu sel yang telah dibuahi, mengalami pembelahan berulang kali dan menghasilkan pola akhir dengan keakuratan dan kompleksitas yang spektakuler, sel itu telah mengalami regenerasi dan diferensiasi.

Regenerasi sel adalah proses pertumbuhan dan perkembangan sel yang bertujuan untuk mengisi ruang tertentu pada jaringan atau memperbaiki bagian yang rusak.

Diferensiasi sel adalah proses pematangan suatu sel menjadi sel yang spesifik dan fungsional, terletak pada posisi tertentu di dalam jaringan, dan mendukung fisiologis hewan. Misalnya, sebuah *stem cell* mampu berdiferensiasi menjadi sel kulit.

Regenerasi dan diferensiasi sel hewan ditentukan oleh genom. Genom yang identik terdapat pada setiap sel, namun mengekspresikan set gen yang berbeda, bergantung pada jumlah gen yang diekspresikan. Misalnya, pada sel retina mata, tentu gen penyandi karakteristik penangkap cahaya terdapat dalam jumlah yang jauh lebih banyak daripada ekspresi gen indera lainnya.

Pengekspresian gen itu sendiri mempengaruhi jumlah sel, jenis sel, interaksi sel, bahkan lokasi sel. Oleh karena itu, sel hewan memiliki 4 proses esensial pengkonstruksian embrio yang diatur oleh ekspresi gen, sebagai berikut:

1. Proliferasi sel, yaitu menghasilkan banyak sel dari satu sel
2. Spesialisasi sel, yaitu menciptakan sel dengan karakteristik berbeda pada posisi yang berbeda.
3. Interaksi sel, yaitu mengkoordinasi perilaku sebuah sel dengan sel tetangganya
4. Pergerakan sel, yaitu menyusun sel untuk membentuk struktur jaringan dan organ

Saat embrio berkembang, keempat proses ini berlangsung bersamaan. Tidak ada badan pengatur khusus untuk proses ini. Setiap sel dari jutaan sel embrio harus membuat keputusannya masing-masing, menurut jumlah kopian instruksi genetik dan kondisi khusus masing-masing sel. Sel tubuh, seperti otot, saraf, dan sebagainya tetap mempertahankan karakteristik karena masih mengingat sinyal yang diberikan saat awal perkembangan embrio.

Ada perbedaan pertumbuhan dan perkembangan sel hewan dan tumbuhan secara umum dan dapat dilihat pada Tabel 8.1.

Tabel 8.1. Perbedaan pertumbuhan dan perkembangan sel hewan dan tumbuhan

HEWAN	TUMBUHAN
Terdapat sentriol	Tidak ada sentriol
Tidak ada pembentukan dinding sel	Terdapat sitokinesis dan pembentukan dinding sel
Ada kutub animal dan vegetal	Tidak ada perbedaan kutub embriogenik, yang ada semacam epigeal dan hipogeal
Jaringan sel hewan bergerak menjadi bentuk yang berbeda	Jaringan sel tumbuhan tumbuh menjadi bentuk yang berbeda
Terdapat proses gastrulasi	Terdapat proses histodiferensiasi

HEWAN	TUMBUHAN
Tidak terdapat jaringan embrionik seumur hidup	Meristem sebagai jaringan embrionik seumur hidup
Terdapat batasan pertumbuhan (ukuran tubuh)	Tidak ada batasan pertumbuhan, kecuali kemampuan akar dalam hal menopang berat tubuh bagian atas
Apoptosis untuk perkembangan jaringan, melibatkan mitokondria	Tidak ada “Apoptosis”, yang ada lebih ke arah proteksi diri, tidak melibatkan mitokondria

8.3 Siklus Reproduksi

Salah satu siklus reproduksi yang dijelaskan dalam pembahasan berikut adalah siklus reproduksi pada hewan. Siklus reproduksi hewan adalah siklus seksual yang terdapat pada individu betina dewasa seksual dan tidak hamil yang meliputi perubahan-perubahan siklik pada organ-organ reproduksi tertentu seperti ovarium, uterus, dan vagina. Perubahan-perubahan ini di bawah pengendalian hormon-hormon reproduksi. Siklus reproduksi meliputi antara lain siklus estrus, siklus ovarium, dan siklus menstruasi. Sistem reproduksi pada dasarnya bertujuan untuk menghasilkan sel telur yang membawa setengah dari sifat genetik keturunan, untuk menyediakan tempat pembuahan selama pemberian nutrisi pada embrio, perkembangan fetus dan untuk mekanisme kelahiran. Lokasi sistem reproduksi terletak paralel diatas rektum. Sistem reproduksi dalam terdiri dari ovari, oviduk, dan uterus.

Ovari merupakan organ reproduki yang penting. Terdapat dua ovari yaitu sebelah kanan dan kiri. Besarnya sekitar 1,5 inci dengan tebal sekitar 1 inci dan terletak di dalam suatu membran seperti kantung ovarian bursa. Ovari bertanggung jawab pada sekresi hormon estrogen dan progesteron dan produksi telur yang baik untuk dibuahi. Telur-telur mulai matang di ovari dalam suatu cairan berisi folikel. Pertumbuhan folikel diatur oleh hormon pituitary, yaitu *Follicle Stimulating Hormone* (FSH). Selanjutnya sel yang mana dibatasi oleh folikel dan dikelilingi sel telur akan

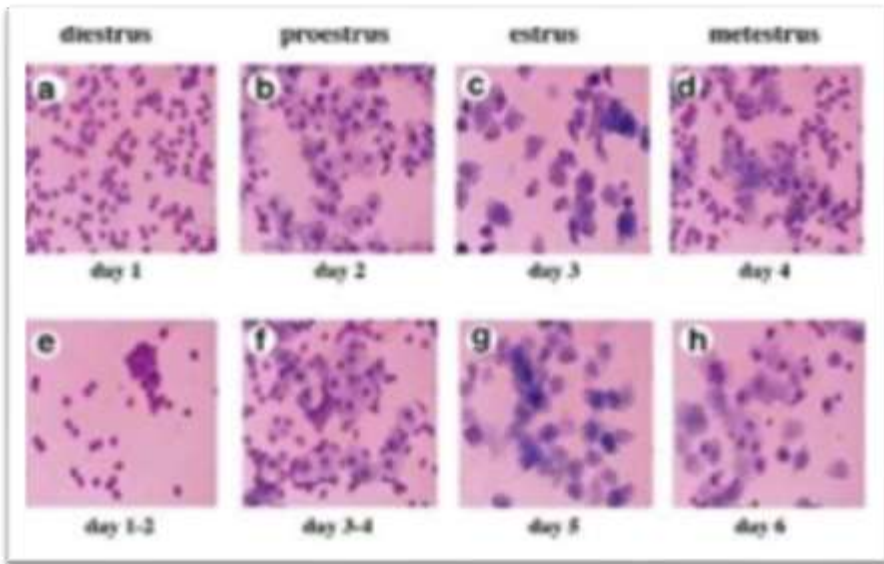
mensekresikan estrogen untuk merespon jumlah *hormone pituitary*. Hormon lainnya meningkat yaitu *Luteinizing Hormone (LH)*. Jumlah estrogen mencapai maksimum pada saat fase standing heat. Diikuti dengan meningkatnya LH pada telur yang dilepaskan dari folikel dan ovulasi yang terjadi.

Oviduk merupakan tabung panjang yang menghubungkan ovari dengan uterus. Di ujung terdekat ovari, oviduk dilebarkan ke dalam infundibulum. Selama fase estrus, posisi infundibulum mengelilingi ovari untuk menjaga sel telur yang terovulasi di dalam oviduk. Oleh karena itu, di dalam oviduk, sel telur berjalan ke arah uterus.

Uterus berbentuk Y terdiri dari kanan dan kiri yang terhubung pada oviduk. Jalan dari kedua tanduknya membentuk tubuh uterus. Uterus berfungsi untuk membawa sel sperma menuju oviduk dan membawa nutrisi dan menyediakan tempat untuk perkembangan janin.

Kebanyakan vertebrata kecuali primata, kemauan menerima hewan-hewan jantan terbatas selama masa yang disebut estrus atau birahi. Selama estrus, hewan-hewan betina secara fisiologi dan psikologis dipersiapkan untuk menerima hewan-hewan jantan, dan perubahan-perubahan struktural terjadi di dalam organ asesori seks betina. Mammalia umumnya daur pembiakan bersamaan dengan daur estrus. Daur ini berdasarkan perubahan berkala pada ovarium, yaitu terdiri dari 2 fase folikel dan lutein. Banyak hewan yang memiliki daur estrus sekali setahun, disebut monoestrus. Terdapat pada rusa, kijang, harimau, kucing, dan sebagainya. Ada pula yang memiliki daur beberapa kali setahun, disebut polyestrus.

Siklus estrus pada mencit terdiri dari 4 fase utama, yaitu proestrus, estrus, metestrus dan diestrus. Siklus ini dapat dengan mudah diamati dengan melihat perubahan sel-sel penyusun lapisan epitel vagina yang dapat dideteksi dengan metode apus vagina pewarnaan Giemsa. Hasil apus vagina menunjukkan hasil yang bervariasi sepanjang siklus estrus, terdiri dari sel epitel berinti, sel epitel yang mengalami kornifikasi, leukosit serta adanya lendir.



Gambar 8.2. *Sel-sel apusan vagina pada mencit.*

Siklus estrus dapat dibedakan atas tahap berikut :

1. Fase Proestrus.

Fase proestrus dimulai dengan regresi corpus luteum dan berhentinya progesteron dan memperluas untuk memulai estrus. Fase ini terjadi pertumbuhan folikel yang sangat cepat. Akhir periode ini adalah efek estrogen pada sistem saluran dan gejala perilaku perkembangan estrus yang dapat diamati. Fase proestrus berlangsung sekitar 2-3 hari dan dicirikan dengan pertumbuhan folikel dan produksi estrogen. Peningkatan jumlah estrogen menyebabkan pemasokan darah ke sistem reproduksi untuk meningkatkan pembengkakan sistem dalam. Kelenjar cervix dan vagina dirangsang untuk meningkatkan aktifitas sekretori membangun muatan vagina yang tebal.. Karakteristik sel pada saat proestrus yaitu bentuk sel epitel bulat dan berinti, leukosit tidak ada atau sedikit.

2. Fase Estrus

Estrus merupakan klimaks fase folikel. Pada fase inilah betina siap menerima jantan. Dan pada saat ini pula terjadi ovulasi (kecuali pada hewan yang memerlukan rangsangan seksual

lebih dahulu untuk terjadinya ovulasi). Waktu ini betina jadi berahi atau panas. Karakteristik sel pada saat estrus yaitu penampakan histologi dari smear vagina didominasi oleh sel-sel superfisial, tetapi terdapat kornifikasi pada hasil preparat, pengamatan yang berulang menampilkan sel-sel superfisialnya ada yang bersifat anucleate. Sel-sel parabasal dan superfisial mudah untuk dibedakan, sedangkan sel-sel intermediet adalah sel yang terletak diantara sel parabasal dan sel superfisial. pada saat nukleus mengecil, membentuk *pyknotic* maka sel ini dapat diklasifikasikan pada sel superfisial.

3. Fase Metaestrus

Fase metestrus diawali dengan penghentian fase estrus Umumnya pada fase ini merupakan fase terbentuknya corpus luteum sehingga ovulasi terjadi selama fase ini. Selain itu pada fase ini juga terjadi peristiwa dikenal sebagai *metestrus bleeding*.

Fase metestrus, histologi dari apusan vagina menampilkan suatu fenomena kehadiran sel-sel yang bergeser dari sel-sel parabasal ke sel-sel superfisial, selain itu sel darah merah dan neutrofil juga dapat diamati. Sel-sel parabasal adalah sel-sel termuda yang terdapat pada siklus estrus.

Karakteristik dari sel-sel parabasal adalah sebagai berikut:

- a. Bentuknya bundar atau oval
- b. Mempunyai bagian nukleus yang lebih besar daripada sitoplasma
- c. Sitoplasmanya biasanya tampak tebal
- d. Secara umum dengan pewarnaan berwarna gelap

Proses perubahan sel-sel parabasal menuju sel intermediet kemudian sel-sel superfisial dan sel-sel anucleate dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Bentuk bundar atau oval perlahan-lahan akan berubah menjadi bentuk poligonal atau bentuk tidak beraturan.
- b. Ukuran nuklei yang besar secara perlahan-lahan akan mengecil, pada beberapa kasus nuklei mengalami kematian atau rusak secara bersamaan.
- c. Ukuran sitoplasma akan lebih tipis daripada semula.

Karena ukuran sitoplasma lebih kecil dari semula maka sel-sel parabasal yang berwarna gelap akibat pewarnaan akan berubah menjadi sel-sel yang berwarna lebih cerah akibat pewarnaan yang sama. Proses perubahan di atas dapat ditengarai sebagai salah satu proses pada siklus estrus.

4. Fase Diestrus

Fase diestrus merupakan fase corpus luteum (CL) bekerja secara optimal. Pada sapi hal ini di mulai ketika konsentrasi progesteron darah meningkat dapat dideteksi dan diakhiri dengan regresi corpus luteum. Fase ini disebut juga fase persiapan uterus untuk kehamilan. Fase ini merupakan fase yang terpanjang di dalam siklus estrus. Terjadinya kehamilan atau tidak, CL akan berkembang dengan sendirinya menjadi organ yang fungsional yang menghasilkan sejumlah progesteron. Jika telur yang dibuahi mencapai uterus, maka CL akan dijaga dari kehamilan. Jika telur yang tidak dibuahi sampai ke uterus maka CL akan berfungsi hanya beberapa hari setelah itu maka CL akan meluruh dan akan masuk siklus estrus yang baru.

8.4 Organ Reproduksi

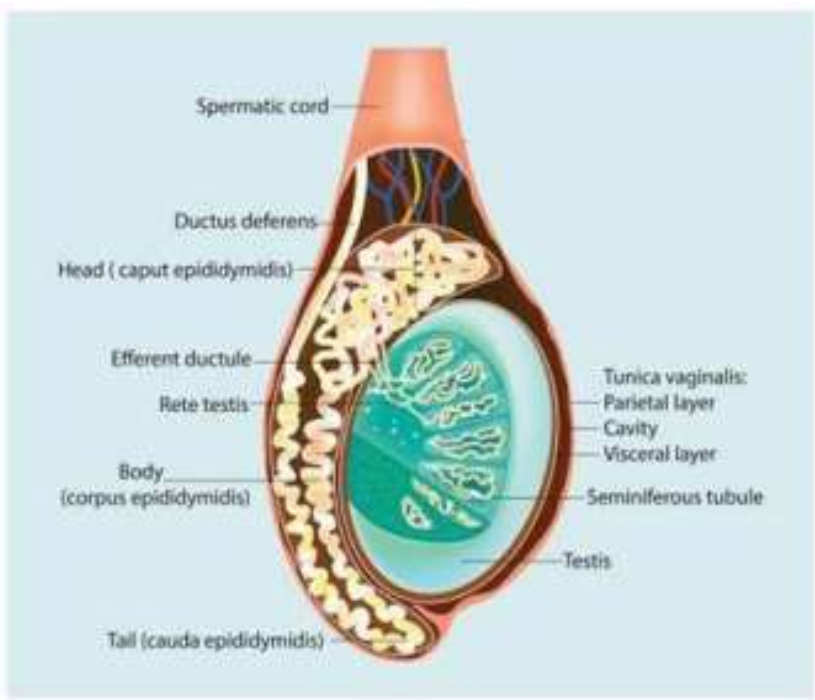
8.4.1 Organ Reproduksi Hewan Jantan

Hewan yang melakukan fertilisasi secara internal organ reproduksinya dilengkapi dengan adanya organ kopulatori, yaitu suatu organ yang berfungsi menyalurkan sperma dari organisme jantan ke betina. Peranan hewan jantan dalam hal reproduksi terutama adalah memproduksi sperma dan sejumlah kecil cairan untuk memungkinkan sel sperma meluncur menuju rahim (uterus). Alat reproduksi jantan terdiri atas testis, epididimis, duktus deferens, kelenjar aksesori (kelenjar vesikulosa, prostat dan bulbouretralis), uretra, penis dan skrotum.

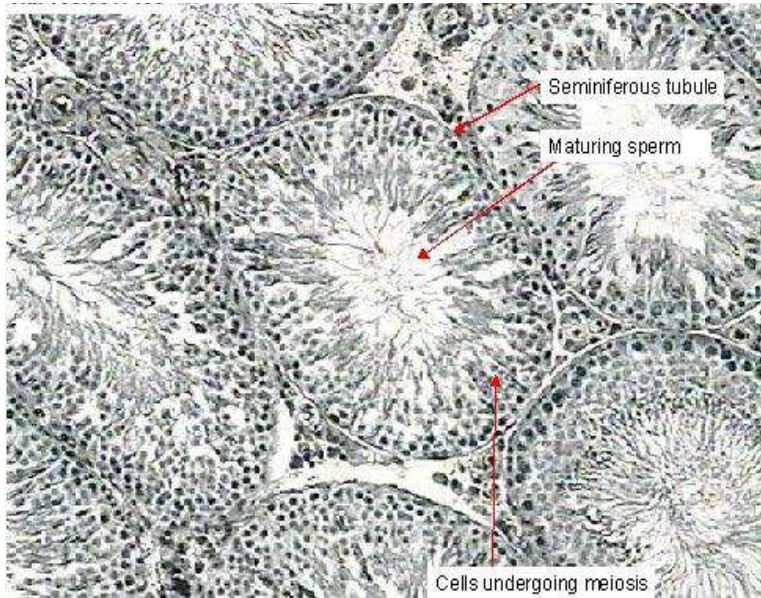
Testis

Semua mamalia yang hidup di laut dan mamalia pakidermis (binatang berkulit tebal) memiliki testis. Testis mengalami penurunan ke arah skrotum. Pada unggas, testis tidak mengalami penurunan, tetapi tetap tinggal di sekitar ginjal. Fungsi utama skrotum adalah untuk memberikan kepada testis suatu lingkungan

yang memiliki suhu 1 sampai 8 °C lebih dingin dibandingkan temperatur rongga tubuh. Fungsi ini dapat terlaksana disebabkan adanya pengaturan oleh sistem otot rangka yang menarik testis mendekati dinding tubuh untuk memanasi testis atau membiarkan testis menjauhi dinding tubuh agar lebih dingin.



Gambar 8.3. Struktur anatomi testis



Gambar 8.4. Penampang melintang tubulus seminiferus

Gonad indifereen sewaktu embrio dini pada betina berdiferensiasi menjadi ovarium, sedangkan pada jantan menjadi testis. Semua spesies testis berkembang didekat ginjal yaitu pada daerah Krista genitalis primitif pada mamalia, testis mengalami penurunan yang cukup jauh, pada kebanyakan spesies berakhir pada skrotum. Burung memiliki testis tidak mengalami penurunan, tetap tinggal pada posisi di sekitar daerah testis itu berasal. Fungsi testis ada dua macam yaitu menghasilkan hormon seks jantan berupa androgen dan menghasilkan gamet jantan disebut sperma. Sperma dihasilkan ditubulus seminiferus dapat dilihat pada Gambar 8.4. Tubulus-tubulus tersebut sangat berliku-liku pada jantan yang lebih tua spermatogonia tumbuh menjadi spermatosit primer, yang setelah pembelahan miosis pertama tumbuh menjadi spermatosit sekunder haploid selanjutnya spermatosit sekunder haploid tumbuh menjadi spermatid yang setelah mengalami sederetan transpormasi disebut spermatogenesis, kemudian tumbuh menjadi sel sperma yang terdiri atas sebuah kepala, sebuah bagian tengah (tubuh) serta sebuah bagian ekor. Fungsi testis lainnya yang penting adalah sekresi hormon seks jantan.

Bukti-bukti yang ada dan yang terbaik menunjukkan bahwa hanya sel leydig yang terdapat pada jaringan interstisial mensekresi hormon androgen. Gonad jantan atau testis terdiri atas banyak saluran yang melilit-lilit. Saluran tersebut adalah tubulus seminiferus, dimana pada tempat tersebut sperma terbentuk. Sel-sel leydig yang tersebar diantara tubulus semeniferus menghasilkan testosteron dan androgen yang merupakan hormon seks jantan. Produksi sperma yang normal tidak akan dapat terjadi pada suhu tubuh sebagian besar mamalia, sehingga testis manusia dan mamalia lain dipertahankan berada diluar rongga abdomen tepatnya di dalam skrotum, yang merupakan pelipatan dinding tubuh. Suhu dalam skrotum adalah sekitar 2 °C di bawah suhu rongga abdomen.

Epididimis

Dari tubulus seminiferus testis, sperma lewat ke dalam saluran mengulir pada epididimis. Selama perjalanan ini sperma menjadi motil dan mendapatkan kemampuan untuk membuahi. Selama ejakulasi, sperma didorong dari epididimis melalui vasdeferens berotot. Kedua duktus ini berawal dari skrotum disekitar dan dibelakang kandung kemih, dimana masing-masing menyatu dengan duktus dari visikula seminalis, yang membentuk duktus ejakulasi yang pendek. Duktus ejakulasi itu membuka ke uretra, yaitu saluran yang mengosongkan isi sistem ekskresi dan sistem reproduksi. Uretra terdapat disepanjang penis dan membuka keluar pada ujung penis.

Kumpulan kelenjar aksesoris (vesikula seminalis, prostate, dan kelenjar bulbo uretralis). Vesikula seminalis menyumbangkan sekitar 60 % total volume semen. Cairan tersebut mengandung mukus berupa gula fruktosa (yang menyediakan sebagian besar energi yang digunakan oleh sperma), enzim pengkoagulasi, asam askorbat, dan prostaglandin. Kelenjar prostate adalah kelenjar pensekresi terbesar. Cairan prostat bersifat encer dan seperti susu, mengandung enzim antikoagulan, sitrat (nutrient bagi sperma), dan sedikit asam. Kelenjar bulbouretralis adalah sepasang kelenjar kecil yang terletak disepanjang uretra, dibawah prostate. Sebelum

ejakulasi kelenjar tersebut mensekresikan mucus bening yang menetralkan setiap urine asam yang masih tersisa dalam uretra.

Sistem duktus (saluran)

Sistem duktus pada jantan sebagian besar berasal dari sistem duktus wolff pada ginjal mesonefrik. Tubulus mesonefrik berkembang menjadi vas deferens, duktus mesonefris menjadi epididimis, sedangkan vas deferens dan vesikula seminalis dibentuk terakhir dari evaginasi duktus. Sisa-sisa dari system duktus yang lain (uretra prostatic membranosa dan kavernosa) berkembang dari sinus urogenitalis seperti halnya dua kelenjar asesoris jantan yang lain, yaitu kelenjar prostate dan kelenjar cowper (kelenjar bulbo-uretra) vasdeferens dibungkus oleh lapisan otot yang berkembang baik yaitu lapisan-lapisan otot longitudinal luar dan dalam dengan lapisan sirkuler diantara keduanya kontraksi lapisan otot ini mungkin merupakan sebagian yang bertanggung jawab pada gerakan sperma yang melalui system duktus.

Kelenjar-kelenjar asesoris pelengkap

Termasuk kelenjar pelengkap adalah sepasang vesikula seminalis, prostat (yang pada tikus terdiri atas tiga lobi, sedangkan pada mamalia berupa bangunan tunggal), dan sepasang kelenjar bulbo uretra atau kelenjar cowper. Berbagai spesies terdapat variasi yang sangat berbeda, baik mengenai ukuran relatifnya maupun bentuk anatomi kelenjar-kelenjar aksesorisnya.

Sel-sel sperma yang ditemukan dalam tubulus seminiferus serta duktus-ductus ekskretorius bagian proximal tidak dapat bergerak. Sel-sel sperma ini kemudian dapat bergerak dan mungkin aktif mengadakan metabolisme setelah mengadakan kontak dengan apa yang disebut dengan plasma semen. Plasma semen mempunyai dua fungsi utama yaitu: berfungsi sebagai media pelarut dan sebagai pengaktif bagi sperma yang mula-mula tidak dapat bergerak serta melengkapi sel-sel dengan substrat yang kaya akan elektrolit (natrium dan kalium klorida), nitrogen, asam sitrat, fruktosa, asam askorbat, inositol, fosfatase sera ergonin, dan sedikit (trace) vitamin-vitamin serta enzim-enzim.

Kelenjar asesoris terdiri dari:

1. **Vesikula seminalis** atau kantung semen (kantung mani) merupakan kelenjar berkeluk-keluk yang terletak di belakang kantung kemih. Dinding vasikula seminalis menghasilkan zat makanan yang merupakan sumber makanan bagi sperma.
2. **Kelenjar prostat**, menghasilkan getah yang mengandung kolesterol, garam, dan fosfolipid yang berperan untuk kelangsungan hidup sperma.
3. **Kelenjar Cowper (kelenjar bulbouretra)** adalah kelenjar yang salurannya langsung menuju uretra dan menghasilkan getah yang bersifat alkali (basa).

8.4.2 Organ Reproduksi Hewan Betina

Hewan betina dewasa akan tampak organ reproduksinya. Organ reproduksi betina terdiri atas organ utama dan organ tambahan. Organ utamanya yang menghasilkan sel kelamin betina berupa ovum adalah ovarium, sedangkan organ tambahan merupakan organ-organ yang ditemukan sebagai alat tambahan yang membantu reproduksi hewan betina diantaranya uterus, oviduk, servix, dan vagina.

Ovarium

Ovarium atau indung telur adalah kelenjar kelamin betina pada hewan dan manusia. Makhluk vertebrata termasuk manusia, mempunyai dua buah ovarium yang berfungsi memproduksi sel telur dan mengeluarkan hormon. Sebagian besar burung hanya memiliki satu ovarium yang dapat berfungsi dengan baik, dan ular memiliki dua ovarium yang tersusun berbaris.

Di dalam setiap ovarium terjadi perkembangan sel telur (oogenesis). Di dalam proses ini sel telur akan disertai dengan suatu kelompok sel yang disebut sel folikel. Pada manusia, perkembangan oogenesis dari oogonium menjadi oosit terjadi pada embrio dalam kandungan dan oosit tidak akan berkembang menjadi ovum sampai dimulainya masa pubertas. Pada masa pubertas, ovum yang sudah matang akan dilepaskan dari sel folikel dan dikeluarkan dari ovarium. Proses pelepasan dari ovarium disebut ovulasi. Sel ovum

siap untuk dibuahi oleh sel spermatozoa dari pria, yang apabila berhasil bergabung akan membentuk zigot.

Ovarium berfungsi mengeluarkan hormon steroid dan peptida seperti estrogen dan progesteron. Kedua hormon ini penting dalam proses pubertas wanita dan ciri-ciri seks sekunder. Estrogen dan progesteron berperan dalam persiapan dinding rahim untuk implantasi telur yang telah dibuahi. Selain itu juga berperan dalam memberikan sinyal kepada kelenjar hipotalamus dan pituitari dalam mengatur siklus menstruasi.

Setelah sel telur diovolasikan, maka akan masuk ke tuba fallopi dan bergerak pelan menuju rahim. Jika dibuahi oleh sperma di (tuba fallopi), sel telur akan melakukan implantasi pada dinding uterus dan berkembang menjadi sebuah proses kehamilan. Jika pembuahan tidak terjadi di tuba fallopi, maka dapat terjadi kehamilan ektopik, di mana kehamilan tidak terjadi di rahim. Perkembangan janin pada kehamilan ektopik, dapat terjadi di tuba fallopi sendiri, bibir rahim, bahkan ovarium.

Ovari yaitu organ betina yang homolog dengan testis pada hewan jantan, berada di dalam rongga tubuh, di dekat ginjal dan tidak mengalami pergeseran atau perubahan tempat seperti pada testes. Ova (telur), yang bila dibuahi oleh spermatozoa pejantan akan menjadi embrio, ada pada saat lahir. Meski jumlah ova diperkirakan sebanyak 75.000 pada 2 ovari, hanya sedikit saja yaitu sekitar 20 sampai 30 yang dilepas selama hidup seekor sapi, dalam kondisi alamiah normal.

Apabila pembuahan tidak terjadi, korpus luteum itu bertambah dalam ukurannya di bawah pengaruh hormone pituitary anterior yaitu prolaktin dan di bentuklah hormone progesterone yang berperan untuk menekan birahi yang berkepanjangan dan mempertahankan kebuntingan.

Tuba Fallopii (Oviduk)

Ovari dirangsang untuk melepaskan ovum kedalam infudibulum dari tuba fallopii atau oviduk . Peristiwa ini sebenarnya tertunda sampai 12 jam setelah akhir birahi (estrus). Sel telur bergerak ke infudibulum dari tuba fallopii dengan *ciliatet action* dan kontraksi otot, dan seterusnya ketanduk uterus, pembuahan, yaitu persatuan antara sel telur dan sperma, terjadi di sepertiga bagian atas dari tuba fallopii. Peristiwa seperti ini dapat terjadi di kedua sisi siatem pasangan itu.

Uterus

Uterus terdiri dari struktur yang menyerupai dua tanduk yang melengkung yang menyerupai tanduk domba, dengan satu badan yang sama. Serviks yang merupakan bagian integral dari uterus. Di bicarakan secara terpisah agar lebih memudahkan pemudahannya.

Pada sapi, tanduk uterus itu membentuk suatu pumtiran spiral yang lengkap sebelum kemudian bersambung dengan yuba fallopii. Tanduk-tanduk uterus itu biasanya berkembang dengan baik, sallah satunya akan merupakan tempat terjadinya perkembangan fetus.

Suplai darah dan saraf terjadi melalui ligament luas yang mendukungnya. Pada hewan-hewan yang lebih tua ligament itu terentang sehingga dapat secara lebih sempurna menopong uterus dan fetus. Di dalam uterus, lapis mukosa mengandung karunkula. Tonjolan-tonjolan kecil ini membesar sampai sebesar uang logam pada sat kebuntingan, tidak mengandung kelenjar dan banyak pembuluh darahnya. Tonjolan itu tersusun dalam baris-baris yang meluas ke dua tanduk, jumlahnya diperkirakan antara 70 sampai 120. penampilannya menyerupai spons karena adanya rongga-rongga kecil yang berperan sebagai titik-titik perlekatan bagi struktur yang berlawanan yaitu kotiledon dari plasenta (membrane yang menyeliputi fetus). Kotiledon dan karankula secara bersama-sama disebut plasetom, yang dapat dibayangkan sebagai dua tombol yang menempel satu sama lain.

Fungsi uterus itu banyak, sebagai contoh, sebagai jalannya sperma pada saat populasi dan motilitas (perlengkapan) sperma ke

tuba palopi dibantu dengan kerja yang sifatnya kontraktil. Pada minggu-minggu awal masa kebuntingan uteruslah yang mendukung perkembangan embrio melalui sekresi dari kelenjar uterus dan plasma darah. Uterus yang dapat mengalami perubahan-perubahan besar dalam ukuran serta bentuknya, berperan sebagai tempat perlekatan melalui plasentombagi embrio yang sedang berkembang selama kebuntingan. Uterus juga berperan besar dalam mendorong fetus serta membrannya pada saat kelahiran. Uterus kemudian dapat kembali dengan cepat kebentuk semula setelah kelahiran, melalui proses involusi.

Ada 4 macam tipe uterus:

1. Dupleks; uterus kanan dan kiri terpisah dan bermuara secara terpisah ke vagina.
2. Bipartil; uterus kanan dan kiri bersatu yang bermuara ke vagina dengan satu lubang.
3. Bikornuat; bagian uterus kanan dan kiri lebih banyak yang bersatu bermuara ke vagina dengan satu lubang.
4. Simpleks; semua uterus bersatu sehingga hanya memiliki badan uterus.

Serviks

Suatu struktur yang menyerupai sfingter yang memisahkan uterin dengan rongga vagina disebut serviks. Fungsi pokok serviks adalah untuk menutup uterus guna melindungi masuknya invasi bakteri maupun masuknya bahan-bahan asing. Sfingter itu ditetapkan dalam keadaan tertutup kecuali pada saat kelahiran saja.

Selama birahi dan kopulasi, serviks berperan sebagai jalan masuknya sperma. Jika kemudian terjadi kebuntingan, saluran uterin itu tertutup dengan sempurna guna melindungi fetus. Beberapa saat sebelum kelahiran, pintu itu mulai terbuka, serviks mengembang, hingga fetus dan membran dapat melaluinya pada saat kelahiran.

Vagina

Struktur reproduksi internal yang paling bawah (paling luar) adalah vagina yang berperan sebagai organ kopulasi pada betina. Di sinilah semen ditumpahkan oleh penis pejantan. Seperti

halnya serviks, vagina juga mengembang agar fetus dan membran dapat lewat pada waktunya.

8.5 Fertilisasi

Pernahkah kita memikirkan proses tumbuhnya bayi hingga dewasa? Dari bayi kita dapat tumbuh menjadi bentuk sekarang, hal ini disebabkan karena sel-sel di dalam tubuh kita terus-menerus memperbanyak diri melalui suatu proses pembelahan sel yang disebut *cleavage*. Organisme multiseluler, proses pembelahan tersebut biasanya dimulai dengan penyatuan dua heterogamet yaitu sperma dan sel telur dalam sebuah proses yang dikenal dengan istilah fertilisasi. Fertilisasi merupakan suatu proses kompleks yang melibatkan penetrasi lapisan-lapisan pelindung sel telur oleh sperma yang motil sampai terjadi penyatuan dua pronuklei (masing-masing nukleus gamet disebut pronukleus) untuk menghasilkan nucleus tunggal yang diploid. Secara sederhana fertilisasi ini merupakan penggabungan dari sel telur dan sperma sehingga menghasilkan telur yang telah difertilisasi atau dibuahi (zigot).

8.6 Perkembangan Hewan

Perkembangan hewan dibagi menjadi 2 fase, yaitu fase embrionik dan fase morfogenesis.

8.6.1 Fase Embrionik

Fase Embrionik adalah fase pertumbuhan zigot hingga terbentuknya embrio. Fase ini meliputi:

1. **Pembelahan zigot membelah atau cleavage (mitosis)** menjadi banyak blastomer. Blastomer berkumpul membentuk seperti buah arbei disebut *Morula*. Morula mempunyai 2 kutub, yaitu kutub hewan (animal pole) kutub tumbuhan (vegetal pole)
2. **Blastulasi** sel-sel morula membelah dan "arbei" morula membentuk rongga (blastocoel) yang berisi air, disebut Blastula.
3. **Gastrulasi** Adalah proses perubahan blastula menjadi gastrula. Pada fase ini : blastocoel mengempis atau bahkan menghilang.

8.6.2 Fase Morfogenesis

Fase morfogenesis biasa dikenal dengan organogenesis merupakan proses pembentukan organ tubuh eksternal dan internal embrio yang berasal dari lapisan-lapisan lembaga meliputi ektoderm, mesoderm dan endoderm. Dalam proses organogenesis akan terbentuk organ atau alat tubuh. Pertumbuhan ini diawali dari pembentukan embrio menjadi fetus kemudian berdiferensiasi menjadi bentuk dan rupa yang spesifik bagi keluarga hewan dalam 1 spesies.

Salah satu contoh organogenesis adalah organogenesis pada manusia yang dimulai akhir minggu ke 3 dan berakhir pada akhir minggu ke 8. Dengan berakhirnya organogenesis maka ciri-ciri eksternal dan sistem organ utama sudah terbentuk yang selanjutnya embrio disebut fetus. Proses dari organogenesis itu terbagi atas dua pertumbuhan yaitu pertumbuhan akhir dan pertumbuhan antara. Pada periode pertumbuhan antara atau transisi terjadi transformasi dan diferensiasi bagian-bagian tubuh embrio dari bentuk primitif sehingga menjadi bentuk definitif. Tahap organogenesis ini embrio akan memiliki bentuk yang khusus bagi suatu spesies. Pada periode pertumbuhan akhir, penyelesaian secara halus bentuk definitif sehingga menjadi ciri suatu individu. Pada periode ini embrio mengalami penyelesaian pertumbuhan jenis kelamin, watak (karakter fisik dan psikis) serta wajah yang khusus bagi setiap individu. Organogenesis merupakan tahapan perkembangan embrio yang paling sensitif dan memerlukan waktu paling lama.

Suatu organ dikatakan turunan/derivat dari suatu lapisan lembaga, bukan berarti seluruh bagian organ itu terbentuk dari lapisan lembaga tersebut, tetapi karena bagian yang terbentuk pertama kali dari organ itu dibentuk pada lapisan lembaga tersebut. Misalnya: usus dikatakan sebagai turunan endoderm, karena bagian dari usus yang pertama kali terbentuk, yaitu epitelnya, terbentuk pada lapisan/bambung endoderm. Jaringan lain penyusun usus berasal dari mesoderm atau mesenkim.

Cara atau proses pembentukan organ dapat berlangsung dengan:

1. Penebalan Lokal

Penebalan lokal terjadi akibat akumulasi sel-sel pada tempat tertentu pada suatu lapisan sel. Contohnya pada proses pembentukan lempeng saraf.

2. Pemisahan Lapisan

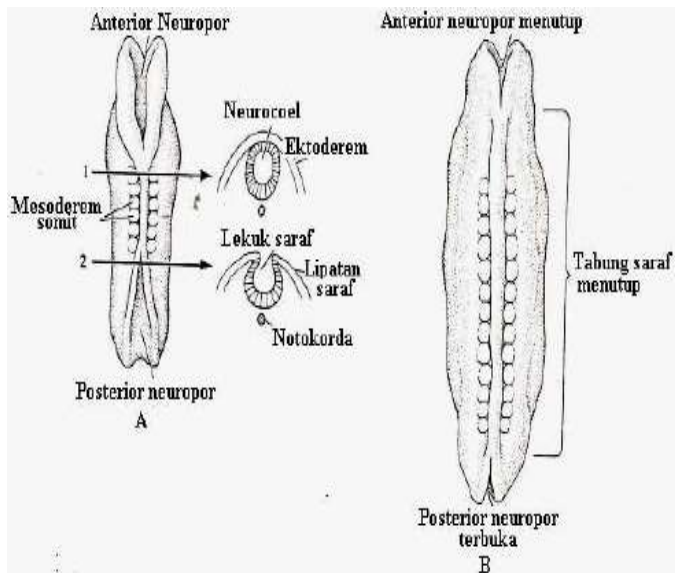
Lapisan multiseluler suatu jaringan dapat memisah membentuk dua lapisan. Contohnya pada pembentukan mesoderm viseral.

3. Pelipatan

Pelipatan lapisan sel dapat terjadi dengan berbagai cara yaitu pelipatan memanjang pada tempat-tempat tertentu dari suatu lapisan sel membentuk lekuk yang memanjang contoh pembentukan tabung saraf. Ada pula pelipatan kedalam (invaginasi) dan pelipatan keluar (evaginasi)

4. Penebalan dan pembentukan rongga Contohnya pada pembentukan tabung saraf

5. Fusi yaitu penyempurnaan pembentukan suatu struktur. Contoh fusi dari pematangan saraf.



Gambar 8.5. Pembentukan Organ Dengan Cara Fusi.

6. **Pemisahan dari lapisan induk.** Kadang-kadang beberapa sel dari suatu lapisan sel terpisahkan dan bergerak untuk membentuk struktur pada tempat-tempat lain dari embrio. Contoh pembentukan neural crest pial neural.
7. **Pembentukan sel-sel mesenkim.** Sel-sel mesenkim berasal dari lapisan mesoderem, dan kemudian menjadi sel-sel yang lepas. Sel-sel mesenkim bersifat amuboid, dan membantu dalam pembentukan pembuluh darah serta jaringan ikat.

Hal-hal yang berhubungan dengan organogenesis adalah:

Periode organogenesis yang terdiri atas:

1. Pertumbuhan antara (transisi): embrio bentuk primitif mengalami transformasi dan berdiferensiasi kemudian membentuk definitif (mempunyai ciri spesifik spesies).
2. Pertumbuhan akhir: embrio bentuk definitif mengalami penyelesaian secara halus membentuk embrio dengan ciri individu.

Organogenesis pada embrio manusia kebanyakan organ (kecuali yang termasuk sistem saraf, sistem reproduksi, gigi dan langit-langit) telah selesai pada akhir minggu ke-8 kehamilan, dan mulai minggu ke-9 kehamilan embrio disebut fetus.

Perubahan pada embrio vertebrata selama organogenesis adalah:

1. Pemanjangan tubuh
2. Pembentukan ekor
3. Pembagian tubuh menjadi bagian kepala dan badan
4. Perkembangan anggota badan
5. Pemisahan embrio dari bagian ekstra embrio (pada amniota)

Induksi embrionik adalah peristiwa berinteraksinya dua macam jaringan pada embrio yang menyebabkan berdiferensiasinya jaringan yang mendapat rangsangan menjadi suatu struktur yang baru.

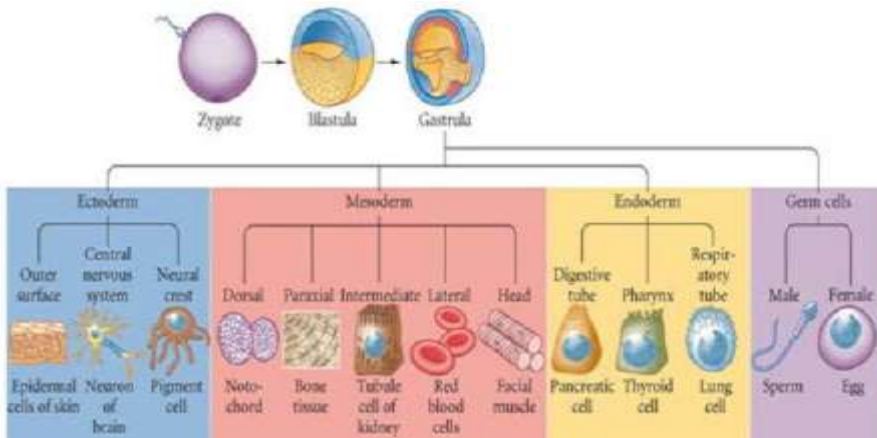
1. Jaringan yang memberi rangsangan pada jaringan lain untuk bereaksi dan berdiferensiasi disebut jaringan induktor

2. Jaringan yang tanggap terhadap rangsangan induktor disebut jaringan kompeten
3. Induksi primer
4. Induksi sekunder: induksi yang terjadi dimana jaringan induktornya merupakan struktur yang dihasilkan dari induksi sebelumnya.
5. Zat induktor yang dikeluarkan oleh jaringan induktor untuk merangsang jaringan kompeten adalah suatu substansi kimia berupa protein atau ribonukleoprotein.

Turunan Lapisan Embrionik

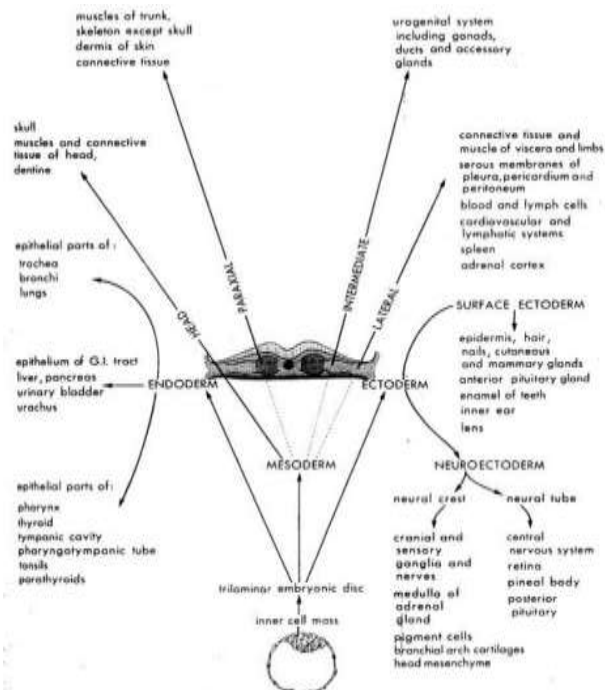
Organogenesis merupakan stadium terakhir dari proses perkembangan embrio. Stadium ini merupakan proses pembentukan organ-organ tubuh makhluk hidup yang sedang berkembang. Sistem organ-organ tubuh berasal dari tiga lapisan lembaga atau jaringan embrionik, yaitu ektoderm, endoderm, dan mesoderm. Pada ektoderm akan membentuk organ-organ susunan (sistem) saraf dan epidermis kulit. Endoderm akan membentuk saluran pencernaan beserta kelenjar-kelenjar pencernaan dan alat pernafasan, dan mesoderm akan membentuk rangka, otot, alat-alat peredaran darah, alat eksresi, alat-alat reproduksi, dan korium (chorium) kulit. Misalnya Jika proses organogenesis pada aves ini telah sempurna maka akan dilanjutkan dengan proses penetasan telur. Organ-organ tersebut merupakan perkembangan lebih lanjut dari ketiga lapisan embrionik yang terbentuk saat gastrulasi.

1. Ektoderm mengalami diferensiasi menjadi kulit, rambut, sistem saraf, dan alat-alat indra.
2. Mesoderm mengalami diferensiasi menjadi otot, rangka, alat reproduksi (seperti testis dan ovarium), alat peredaran darah, dan alat ekskresi seperti ginjal.
3. Endoderm mengalami diferensiasi menjadi alat pencernaan, dan alat-alat pernapasan seperti paru-paru.



Gambar 8.6. Organ dari turunan lapisan embrionik.

Selanjutnya lebih lengkap turunan lapisan-lapisan lembaga dapat dilihat pada Gambar 8.7 berikut.

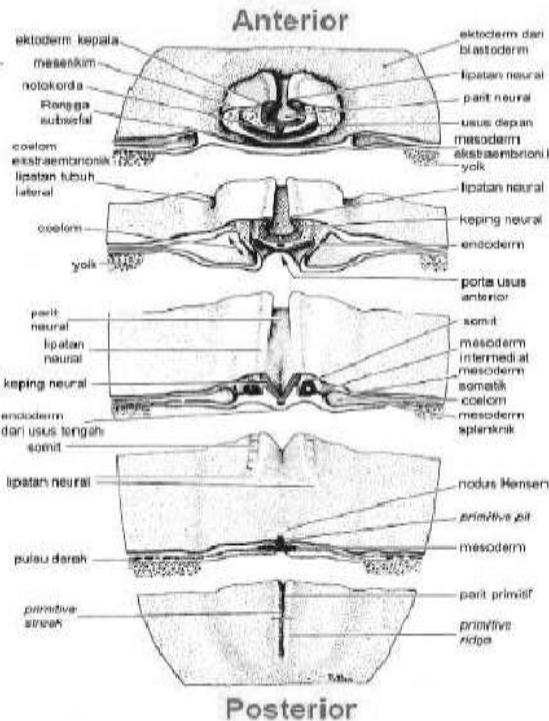


Gambar 8.7. Asal dan turunan lapisan-lapisan lembaga ektoderm, mesoderm dan endoderm pada embrio manusia.

Perkembangan Otak

Tabung saraf terdiri atas dua bagian yaitu bagian anterior dan bagian posterior. Bagian anterior akan berkembang menjadi daerah otak, sedangkan bagian posterior akan berkembang menjadi sumsum tulang belakang. Bagian anterior tabung saraf embrio manusia terjadi perubahan-perubahan yang drastis dan menghasilkan tiga vesikula utama atau gelembung-gelembung otak primer, yaitu :

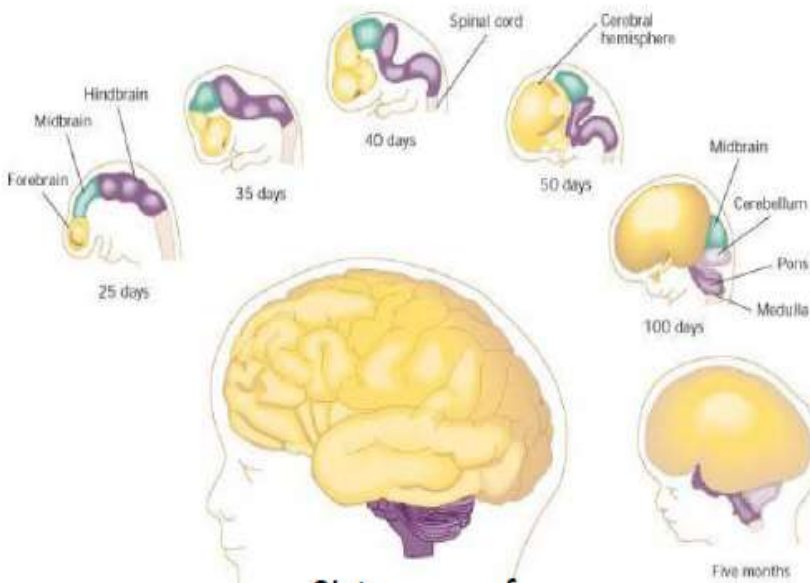
1. Otak depan atau proencephalon,
2. Otak tengah atau mesencephalon dan
3. Otak belakang atau robencephalon.



Gambar 8.8. Pembentukan telencephalon dan diencephalon pada otak manusia

Saat embrio berumur 5 minggu, otak depan terdiri atas dua bagian yaitu telencephalon pada bagian anterior dan diencephalon pada bagian daerah posterior. Telencephalon pada akhirnya

membentuk hemispher cerebri, dan diencephalon akan membentuk thalamus dan hypothalamus. Pada diencephalon juga dibentuk vesikula mata. Rhombencephalon mengalami perkembangan menjadi dua daerah, yaitu yang lebih ke anterior adalah metencephalon dan yang ke posterior adalah myelencephalon. Pada akhirnya myelencephalon menjadi medulla oblongata. Rhombencephalon dipisahkan dari mesencephalon oleh suatu lekuk yang dalam yang disebut isthmus rhombencephali. Metencephalon pada akhirnya membentuk cerebellum, yaitu bagian otak yang bertanggung jawab untuk koordinasi gerakan, postur, dan keseimbangan.



Gambar 8.9. Perkembangan otak

Setiap makhluk hidup memiliki sistem reproduksinya masing-masing. Mereka memiliki sistem yang berbeda dengan sistem makhluk hidup lainnya. Tak ada satupun makhluk yang sama sistemnya ada saja perbedaan yang menyebabkan dia bisa berkembang dan bertahan dimuka bumi ini. Demikian pula pada hewan dengan proses-proses perkembangbiakannya memiliki ciri

khas masing-masing baik di fase awal perkembangan embrionya sampai fase akhir terutama organogenesisnya.

Akhirnya manusia merupakan makhluk yang dari segi kompleksitas sangat tinggi maka berbicara mengenai organogenesis yang merupakan proses diferensiasi dan pembentukan organ akan sangat menarik mengingat tingkat kerumitan molekuler yang kita miliki sangat tinggi. Sesungguhnya hidup itu kompleks tidak sederhana yang kita bayangkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., Watson, D. 1994. *Molecular Biology of The Cell*. Third Edition. Garland Publishing, Inc. New York and London.
- Balinsky. 1976. *An Introduction to Embryology*. W.B. Saunders, Co. Philadelphia.
- Campbell, Reece, dan Mitchell. 2002. *Biologi*. Erlangga. Jakarta.
- Carlson, R.M. 1988. *Pattens Foundation of Embryology*. Mc. Graw Hill Books. New York.
- Junqueira, L. & Carneiro, J. 1982. *Histologi Dasar*. Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Gilbert, S.F. 1985. *Development Biology*. Sinauer Ass. Publ. Sunderland. Massacussets.
- Huettner, A. F. 1949. *Fundamental of Comparative Embryology of the vertebrates*. The Mc. Milla Co. New York.
- Jannah, Nurul. 2011. *Biologi Reproduksi.*: AR.Ruzz. Yogyakarta.
- Majumdar, N.M. 1985. *Texbook of vertebrates Embryology*. Mc. Graw Hill Publ.Co. New Delhi.
- Partodihahardjo, S., 1992. *Ilmu Reproduksi hewan*. Mutiara. Jakarta.
- Saunders J. W. 1970. *Pattens and Principles of animal Development*. The Mc. Millan Co. New York.
- Sudarwati, Sri.dkk. 1990. *Dasar-Dasar Struktur dan Perkembangan Hewan*. Penerbit ITB. Bandung.
- Sudarwati. 1990. *Struktur dan Perkembangan Hewan*. ITB. Bandung.
- Susetyarini, Eko, dkk. 2020. *Embriologi dan Reproduksi Hewan*. UMM Press. Malang.
- Susilawati, Trinil. 2011. *Spermatologi*. UB Press. Malang.
- Umar, Zulkarnaim. 2010. *Buku Daras Struktur dan Perkembangan Hewan*. Prodi Biologi Ftarbiyah dan Keguruan UIN Alauddin Makassar. Makassar.
- Villee, A.C., Soloman, P.E., Davis, W. 1985. *Biology*. Terjemahan: Hala, Y. 1990. Pusat Antar Universitas Bidang Ilmu Hayati Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Yonita. 2007. *Oogenesis dan Spermatogenesis Pada Mamalia*. Maj Kedok FK UKI Vol. XXV No. 2.

BAB 9

MIKROORGANISME DAN PENYAKIT

Oleh I Wayan Suanda

9.1 Pendahuluan

Mikroorganisme atau mikroba merupakan organisme jasad renik berukuran sangat kecil, untuk melihatnya diperlukan alat bantu kaca pembesar atau mikroskop. Mikroorganisme (mikroba) dipelajari dalam mikrobiologi, yaitu: cabang biologi mempelajari makhluk berukuran kecil (jasad renik). Mikroba memiliki ukuran yang dinyatakan dalam mikron (μ), dimana $1 \mu = 0,001 \text{ mm}$. Mikroorganisme tidak hanya dipandang karena memiliki ukuran kecil (mikro), namun memiliki organisasi hidup sebagai satuan struktur biologi lebih sederhana dari organisme tingkat tinggi. Walaupun mikroorganisme berukuran kecil, namun ada sel penyusun yang memiliki peranan dalam pertumbuhan dan memperbanyak diri, dalam satuan koloni. Artinya pertumbuhan dan perbanyakkan diri mikroba ini ditentukan dalam satuan koloni, karena mikroba sebagai kumpulan dari sel. Berdasarkan sel penyusun, maka mikroorganisme dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu: mikroorganisme bersel satu atau tunggal (*uniseluler*) dan mikroorganisme bersel banyak (*multiseluler*). Mikroba uniseluler memiliki fungsi secara menyeluruh dalam kehidupannya, sedangkan multiseluler telah memiliki pembagian fungsi diantara sel tersebut, walaupun organisasi selnya belum sempurna. Pertumbuhan pada mikroorganisme uniseluler (bersel satu) berbeda dengan pertumbuhan mikroorganisme multiseluler (banyak sel) karena pertumbuhan diikuti peningkatan massa sel penyusun mikroorganisme. Waluyo (2016) menyebutkan bahwa pertumbuhan organisme multiseluler sebagai bentuk peningkatan jumlah sel penyusun organisme sehingga ukuran organisme menjadi lebih besar.

Populasi penduduk dunia terus meningkat perlu diimbangi produksi pangan, obat-obatan, sandang dan papan serta kebutuhan

lain, baik secara kuantitas maupun kualitas, melalui penerapan bioteknologi kesehatan, bioteknologi pertanian maupun bioteknologi pasca panen. Dalam bioteknologi telah dipadukan antara perkembangan teknologi yang mampu mengelola dan memanfaatkan potensi mikroorganisme (biotik). Pengelolaan diarahkan untuk kepentingan serta kesejahteraan hidup manusia, berupa bioteknologi konvensional maupun bioteknologi modern. Bioteknologi yang menerapkan teknologi genetika mampu memicu melipatgandakan produksi pangan dan obat-obatan untuk memenuhi kebutuhan bahan makanan dan kesehatan manusia.

Keberadaan mikroorganisme di alam sangat luas, menempati ruang yang tak dapat diukur, seperti di tanah, di air bahkan terkandung dalam udara. Peralatan rumah tangga, pakaian termasuk tubuh manusia (pada kulit, selaput lendir, dahak, bersin) mudah ditemukan mikroorganisme (mikroba). Mikroorganisme memiliki peranan sebagai pengurai dalam ekosistem, menimbulkan keseimbangan lingkungan. Walaupun mikroorganisme ini keberadaan ada yang menguntungkan untuk (kesehatan, pertanian, bioteknologi, industri fermentasi), namun tidak sedikit menimbulkan penyakit dan patogen bagi manusia, ternak, tanaman dan kehidupan lain. Disinilah pentingnya mempelajari mikroorganisme yang bermanfaat untuk dikembangkan serta mendayagukannya sesuai potensi yang dimiliki agar dapat bermanfaat bagi kesejahteraan manusia serta terjaganya keseimbangan ekosistem di alam.

Mikroorganisme (mikroba) dalam hidupnya mengalami interaksi dengan mikroba lain maupun organisme lain, sehingga dapat menimbulkan efek beraneka ragam, baik menguntungkan maupun merugikan. Mikroorganisme banyak dibahas dalam mikrobiologi kedokteran (kesehatan) dan fitopatologi (perlindungan tanaman). Potensi mikroba telah banyak dipelajari dan diteliti untuk dikembangkan dalam bioteknologi bermanfaat untuk obat maupun sumber daya hayati (pupuk hayati berbasis mikroorganisme) untuk menghasilkan pangan sehat dan berkelanjutan (Suanda, 2020). Mikroorganisme yang dimanfaatkan dalam bioteknologi pengolahan makanan berasal dari kelompok fungi (jamur) maupun bakteri. Bakteri yang sering digunakan

diantaranya kelompok Actinobacteriaceae, seperti: *Bifidobacterium thermophilum* (Xiao *et al.* 2010); kelompok Firmicutes, seperti: *Bacillus* sp. (Schwan dan Wheals, 2004; Kubo *et al.* 2011). Kelompok bakteri Proteobacteriaceae, seperti: *Acetobacter* dan *Gluconacetobacter* (Sengun dan Karabiyikli, 2011), sedangkan dari fungi, seperti: yeast maupun filamentous fungi (Bourdichon *et al.*, 2012).

9.2 Mikroorganisme

Awal terungkapnya dunia mikroorganisme (mikroba), yaitu adanya penemuan mikroskop oleh Antonie van Leeuwenhoek (1633-1723). Mikroskop temuan tersebut masih sangat sederhana, hanya dilengkapi satu lensa dengan jarak fokus yang sangat pendek, tetapi dapat menghasilkan bayangan jelas pada perbesaran antara 50-300 kali. Leeuwenhoek melakukan pengamatan struktur mikroskopis biji dan jaringan tumbuhan serta invertebrata kecil, tetapi penemuan yang terbesar adalah diketahuinya dunia mikroba yang disebut sebagai “animalculus” atau hewan kecil. Animalculus adalah jenis-jenis mikroba yang sekarang diketahui sebagai protozoa, algae, khamir, dan bakteri.

Berdasarkan ukuran dan sifatnya, mikroorganisme dikategorikan ke dalam empat kelompok yakni: virus, bakteri, jamur dan parasit (Achmadi, 2006). Bakteri dan jamur yang berkembang dalam tubuh manusia dapat menyebabkan beberapa infeksi dan penyakit. Bagian tubuh manusia, seperti: tangan yang bersentuhan langsung dengan cairan, seperti: ingus, bersin, air liur dan makanan atau minuman yang terkontaminasi dapat memindahkan mikroba: bakteri, virus, dan parasit pada orang lain dan media tumbuh lain, sehingga tidak disadari bahwa dirinya sedang tertular patogen (Darmadi, 2008). Terlebih saat munculnya Covid-19 yang penularannya sangat cepat, sehingga munculnya tatanan kehidupan baru bagi masyarakat.

Mikroorganisme merupakan penyebab berbagai macam penyakit yang telah melanda peradaban manusia selama berabad-abad (Pelczar dan Chan, 2007). Malapetaka menghebohkan dunia saat munculnya Covid-19 melanda penduduk di banyak negara, termasuk Indonesia mulai 2019 sampai 2021 yang menimbulkan

kematian dan meporak porandakan kehidupan, seperti: ekonomi, sosial, budaya dan tatanan kehidupan lainnya. Mikroorganisme bersifat patogen berkembang biak dalam tubuh manusia sehingga menyebabkan penyakit (Achmadi, 2006). Habitat mikroorganisme yang lain adalah di aliran air, danau, sungai, laut dan di dalam setiap gram tanah subur terdapat berjuta-juta mikroorganisme (Pelczar dan Chan, 2007). Banyak penyakit yang disebabkan oleh jamur (fungi), salah satunya spesies *Candida albicans*. *Candida albicans* merupakan jamur bersel tunggal dan tidak berfilamen yang berpotensi sebagai penyebab infeksi nosokomial yang sangat penting diseluruh dunia. Pencarian mikroba terus dilakukan di rizosfer (tanah dekat perakaran tumbuhan), pada tumbuhan, hewan, termasuk pada manusia mulai diteliti dalam berbagai riset untuk mendapatkan mikroba bermanfaat.

Mikroba yang memiliki ukuran sangat kecil (mikroskopis) dengan perkembangbiakan yang cepat dan mampu bertahan hidup di luar inang menjadikan mikroorganisme memiliki penyebaran sangat luas (Soelistiya and Jekti, 2018). Keberadaan di alam secara umum berperan sebagai produsen, konsumen, maupun pengurai. Mikroba jenis algae dan bakteri fotosintetik menghancurkan (degradasi) bahan organik dan an-organik menjadi material organik, seperti kompos untuk memudahkan akar tumbuhan menyerap unsur hara yang terkandung di dalamnya. Mikroba konsumen menggunakan bahan organik yang dihasilkan produsen, baik secara langsung maupun tidak langsung. Misalnya: mikroba hidup pada biji kacang tanah dan menjadikan kacang tanah sebagai sumber nutrisi, seperti: *Aspergillus* sp. begitu pula *Rhizobium* yang bersimbiosis pada akar kacang tanah. Media tumbuh yang dibuat dari bahan kentang atau potato dalam bentuk media PDA maupun PD *Broth* menjadi media tumbuh mikroba (jamur maupun bakteri). Mikroba bakteri dan jamur pengurai menguraikan bahan organik dan sisa-sisa organisme yang telah mati melalui proses mineralisasi untuk memudahkan pemanfaatan unsur hara atau hasil mineralisasi oleh tumbuhan.

Kegiatan eksplorasi mikroorganisme (mikroba) telah banyak dilakukan melalui riset atau penelitian dengan tujuan mendapatkan mikroba bermanfaat bagi manusia, baik dibidang kesehatan atau

farmasi (obat-obatan), pertanian (biostimulan dan bioprotektan), bioindustri (fermentasi), bioteknologi (kloning, tanaman transgenik) (Suanda, 2020). Aktivitas eksplorasi mikroba yang diisolasi pada tumbuhan yang hidup pada lahan marginal untuk menemukan mikroba yang bermanfaat bagi kehidupan manusia telah banyak dilaksanakan (Suanda, 2023a). Isolasi bakteri endofit pada tumbuhan yang hidup sangat bagus di lahan ekstrim (termarginalkan) berpotensi mendapatkan mikroba bersifat positif, seperti: bakteri endofit berasal dari akar nenas (*Ananas comosus* L.) memiliki aktivitas bioprotektan, berupa senyawa anti mikroba patogen bersifat antibiosis.

9.2.1 Mikroorganisme dan Penyakit

Mikroorganisme (mikroba) diketahui ada setelah dilakukan pengamatan secara mikroskopis oleh Antonie van Leeuwenhoek melalui mikroskop sederhana hasil penemuannya. Mikroorganisme berupa makhluk kecil (jasad renik) dinamakan *animalcule*. *Animalcule* telah ditemukan dalam air hujan, larutan peppercom dan kerokan gigi dalam mulut manusia. Penemuan *animalcule* memberikan inspirasi dan motivasi kepada peneliti untuk melakukan riset atau penelitian terkait keberadaan jasad renik tersebut dan memunculkan teori generatio spontanea (*spontaneous generation*). Penelitian terus mengalami perkembangan untuk membuktikan asal mikroorganisme dilakukan Fransisco Redi, melalui percobaan daging disimpan dalam stoples dengan beberapa variasi perlakuan, ada ditutup dan ada dalam keadaan terbuka. Munculnya bau busuk dan larva pada daging disebutkan berasal dari lalat, dimana lalat yang hinggap bertelur sampai menetas menjadi larva. Lazzaro Spalanzani, Theodor Schwan dan Schleiden melakukan percobaan menggunakan kaldu daging dan ekstrak sayur yang tidak dipanasi ta ditumbuhi mikroba, sedangkan kaldu yang telah dipanaskan sebelumnya tidak ditemukan mikroba, ini menunjukkan adanya kontaminasi mikroba dari udara bebas.

Penelitian ini dilanjutkan oleh Louis Pasteur dengan mendesain bentuk leher tabung (bentuk leher angsa) dan penutup tabung menggunakan kain bersih (steril) untuk menyimpan air kaldu dan ekstrak sayur. Hasil percobaan ini memberikan bahwa

tabung berleher angsa yang diisi kaldu yang telah dipanaskan ternyata tidak ditemukan mikroba dan sebaliknya ditemukan mikroba pada cairan kaldu tanpa dipanaskan dalam tabung yang lehernya tanpa rintangan (tanpa leher angsa). Percobaan ini membuktikan bahwa mikroba keberadaannya tersebar di udara. Mikroorganisme tersebar luas di alam memberikan konsekuensi terkontaminasinya produk pangan dan menurunkan kimia, fisik dan kualitas bahan tersebut.

9.2.2 Bentuk Interaksi Mikroba dengan Lingkungan

Mikroorganisme atau mikroba yang terdapat di alam melakukan interaksi atau asosiasi dengan sesama mikroorganisme ataupun organisme lainnya dalam menjaga suatu keseimbangan ekologis. Umumnya mikroba cenderung dihubungkan dengan penyakit, infeksi, serta pembusukan. Pristiwa yang ditimbulkan mikroba ini bisa terjadi pada manusia, hewan (ternak) dan tumbuhan. Namun kenyataannya sebagian besar mikroba bisa memberikan kontribusi yang berarti bagi keseimbangan ekosistem lingkungan hidup, khususnya bagi kesejahteraan manusia (Padoli, 2016). Interaksi mikroba dengan lingkungan kondisinya sangat ditentukan faktor lingkungan. Hal ini juga dinyatakan lingkungan sangat menentukan penyebaran dan pertumbuhan suatu mikroorganisme (Suin, 2002). Kondisi ini dapat menjadi penentu kisaran toleransi hidup mikroorganisme, namun kondisi optimal sebagai faktor terbaik yang dimiliki masing-masing spesies. Kondisi lingkungan yang mampu menyediakan kebutuhan nutrisi bagi mikroba akan menjadi media tumbuh yang baik untuk pertumbuhan (Asnah, 2010). Kelompok mikroorganisme heterofik, seperti fungi yang hidup pada bahan organik menjadi saprofit yang tumbuh menyebar pada inang lain sebagai parasit.

Tersedianya nutrisi dan kondisi lingkungan yang sesuai akan mendukung keberlangsungan pertumbuhan mikroba. Pertumbuhan mikroba menunjukkan terjadinya reproduksi, berupa pertambahan massa individu yang menyusun suatu populasi. Perbanyakkan sel ini akan berlangsung cepat sehingga dalam waktu singkat didapatkan jumlah mikroba yang sangat banyak. Sel bakteri mengalami pertumbuhan ditandai adanya peningkatan jumlah selnya. Adanya

pertambahan jumlah sel bakteri, berarti jumlah koloni sel bakteri bertambah. Pertambahan biomassa atau jumlah sel ini memungkinkan dilakukan pengukuran pertumbuhan (Carroll, Butel, Morse, & Timothy, 2016). Hasil penelitian dan observasi pada tanaman stroberi, pergantian musim dan perubahan cuaca berpengaruh langsung terhadap populasi serangga hama dan berbanding terbalik dengan laju peningkatan patogen (Suanda, 2023b). Artinya pada musim kemarau keberadaan serangga termasuk serangan hama pada tanaman lebih ganas dan sebaliknya saat musim hujan kerusakan akibat patogen berupa mikroorganisme (jamur dan bakteri) lebih tinggi.

Cendawan jenis *Metharizium anisopliae* memiliki kemampuan sebagai agensia hayati untuk mengendalikan serangga hama Ordo coleoptera, Lepidoptera, homoptera dan Isoptera pada tanaman (Prayoga *et al.*, 2005). *M. anisopliae* memiliki kelebihan karena dapat diproduksi secara massal dengan mudah dan gangguan kepada serangga non target sangat minimal, bahkan dapat diabaikan (Singh *et al.*, 2017). Entopatogen, seperti: jamur, bakteri, nematoda dan virus memiliki aktivitas menginfeksi serangga terutama hama, sehingga pengendalian ini berkembang dalam pertanian berkelanjutan, contoh: *Bacillus thuringiensis*. *Bacillus thuringiensis* (Bt) adalah bakteri bersifat entomopatogen, karena mampu memproduksi kristal protein toksik (*δ -endotoksin*) bermanfaat sebagai bioinsektisida (Trizelia. 2001).

Mikroorganisme jenis Jamur atau khamir memegang peranan dalam proses fermentasi dan pengurai bahan organik serta dalam siklus biogeokimia tanah, siklus hara dan dekomposer (Armawi, 2009). Pada ekosistem hutan terjadi penguraian daun tumbuhan dan tumbuhan yang sudah mati oleh mikroba yang memiliki potensi sebagai pengurai, melalui pelibatan enzim yang diproduksi miselium jamur (Musyafa, 2005). Berdasarkan fisika-kimia lingkungan, beberapa jamur genus *Agrocybe*, *Trametes*, *Naucoria*, *Lepiota*, *Micromphale*, *Amanita*, *Schizophora*, *Tricholomopas*, *Leceinum*, *Coltricia*, dan *Mycena* memiliki kemampuan hidup di lingkungan agak asam, hal ini memberikan peluang habitat hidup cukup luas. Aktivitas mikroorganisme menjadi semakin penting pada hutan memiliki tanah utisol untuk

mempercepat proses degradasi bahan organik. Mikroba dapat mengurangi pencemaran lingkungan dari bahan organik karena memiliki kemampuan sebagai dekomposer (Suanda, 2023a). Bahan organik yang dihasilkan dapat dimanfaatkan menjadi pupuk kompos, seperti penggunaan *Effective Microorganism* (EM). EM merupakan kultur campuran mengandung mikroorganisme sebagai inokulan mempercepat proses degradasi, contohnya EM₄. Pemberian EM₄ ke dalam bahan organik limbah pertanian dan limbah rumah tangga serta kompos dapat menghasilkan pupuk organik yang efektif untuk pertumbuhan dan produksi tanaman.

Beberapa mikroorganisme (mikroba) telah ditemukan pada tumbuhan atau tanaman, seperti: jamur endofit pada batang maupun daun tumbuhan yang memiliki potensi menghasilkan hormon Indole-3-Acetic-Acid (IAA). Keberadaan IAA pada tumbuhan disebabkan adanya aktivitas akar tumbuhan mengekskresikan eksudat akar yang mengandung L-triptofan yang bermanfaat sebagai prekursor dalam biosintesis hormon IAA. Peranan bakteri endofit dalam membantu ketersediaan dan siklus hara pada tumbuhan dengan menjaga kestabilan tekstur tanah. Bakteri PGPR memiliki kedudukan penting dalam pertanian karena bersifat biostimulan, memacu pertumbuhan tanaman dan bersifat bioprotektan, yaitu kemampuan menekan dan menghambat perkembangan hama dan penyakit tanaman.

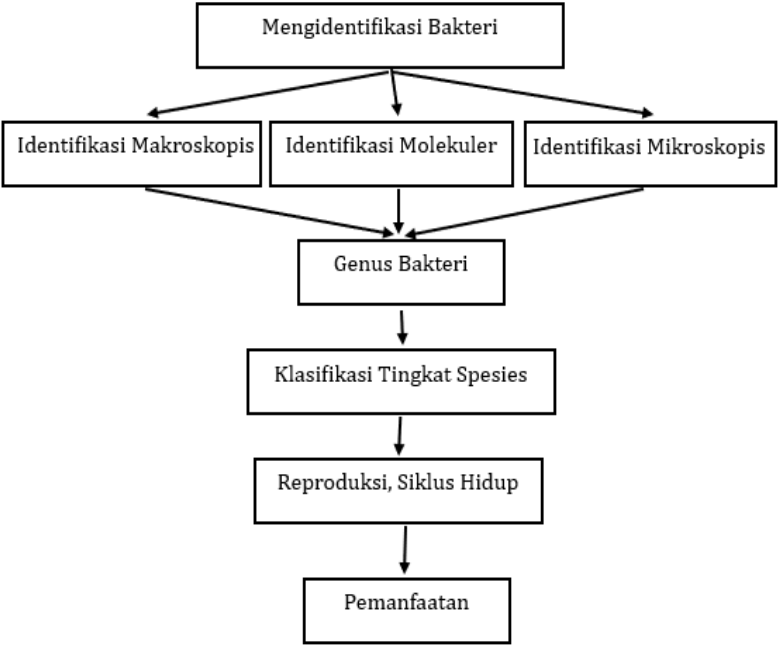
9.2.2 Prokariotik dan Eukariotik

Sel merupakan struktur terkecil penyusun organisme (makhluk hidup) yang mampu melakukan proses pertumbuhan dan reproduksi untuk kelangsungan hidupnya. Perbedaan pokok antara sel prokariotik dengan sel eukariotik adalah sel eukariotik memiliki membran inti sedangkan sel prokariotik tidak. Selain itu sel eukariotik memiliki sistem endomembran yakni memiliki organel-organel bermembran, seperti : retikulum endoplasma, kompleks golgi, mitokondria dan lisosom. Perbedaan struktur sel organisme, terdiri atas: 1) sel prokariotik dan 2) sel eukariotik

1. Prokariotik

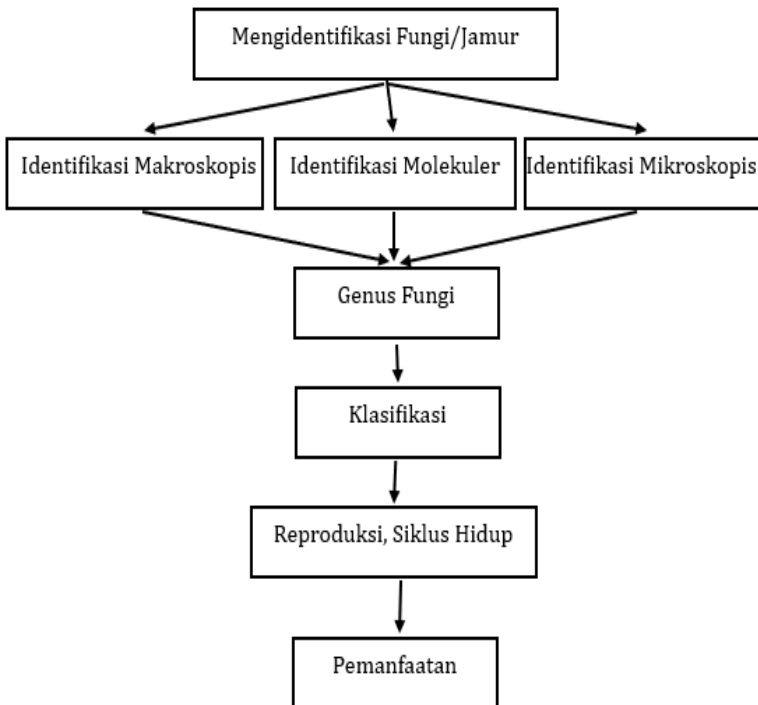
Prokariotik merupakan mikroorganisme yang tidak memiliki membran inti atau organel tidak dikelilingi

membran, sehingga DNA bebas dalam sitoplasma. Struktur sel prokariotik berupa struktur sederhana terdiri dari satu lapis fosfolipid yang bersifat uniseluler. Selnya memiliki diameter 1 sampai 10 μm (mili mikron). Tidak memiliki inti sel sehingga DNA berada dalam nukleoid yang tanpa lapis membran. Sel prokariotik dapat ditemukan pada bakteri dan arkea. Prokariotik berupa bakteri dan ganggang biru (Divisio Monera), prokariotik memiliki membran plasma nukleoid (DNA dan RNA) serta sitoplasma yang berisi ribosom. Bakteri merupakan salah satu golongan mikroorganisme prokariotik (bersel tunggal) yang hidup berkoloni dan tidak mempunyai selubung inti namun mampu hidup disemua lokasi. Selain itu prokariotik juga tidak memiliki sistem endomembran, seperti: retikulum endoplasma, sentriol dan kompleks golgi. Prokariotik tidak memiliki membran inti, mitokondria dan kloroplas. Bakteri diklasifikasikan menjadi 2, yaitu : bakteri *Gram positif* dan bakteri *Gram negatif*, merupakan mikroba flora normal pada tubuh manusia.



2. Eukariotik

Sel eukariotik memiliki struktur yang kompleks umumnya bersifat multiseluler. Eukariotik memiliki sel berdiameter 10 sampai 100 μ (mikron). Memiliki inti sel yang terlindung membran nukleus dan DNA eukariotik berada di dalam kromosom. Sel membran eukariotik lebih kompleks dari prokariotik, karena tersusun dari dua lapisan fosfolipid. Eukariotik ada yang terdiri dari satu sel atau bersel tunggal (uniseluler), seperti algae sel tunggal, khamir dan protozoa (Divisio Protista) dan eukariotik bersel banyak (multiseluler), meliputi: Divisio fungi dan Divisio plantae. Sel eukariotik juga memiliki sentriol, sedangkan sel prokariotik tidak. Struktur sel eukariotik meliputi: membran inti, mitokondria, kloroplas (sel tumbuhan), retikulum endoplasma, badan golgi dan lisosom.



Aspergillus sp. sebagai salah satu contoh eukariotik mudah dijumpai pada substrat, seperti: roti, konsentrat dan sering mengkontaminasi media tumbuh jamur di laboratorium. Hal ini disebabkan penyebaran *Aspergillus* sp. paling luas dan keberadaannya melimpah di alam (Dina, 2016). *Aspergillus* sp. merupakan jamur patogen yang menghasilkan mikotoksin berupa aflatoksin bersifat karsinogenik dan mematikan hewan dan manusia. Beberapa kasus keracunan sampai menimbulkan korban disebabkan mengkonsumsi makanan telah melewati batas penggunaan atau sudah kadaluwarsa yang telah terkontaminasi patogen ini. *Aspergillus* sp. memiliki konidia (*conidiophores*) dan spora pada kepala (*visicle*) dengan kemampuan tumbuh pada suhu 37°C (Pratiwi, 2008). Kelompok jamur *Aspergillus* sp. memiliki kemampuan tumbuh di tanah, daerah tropik pada kelembaban tinggi dengan kadar air 7%. *Aspergillus* sp. terdiri atas kelompok: 1) *Aspergillus niger*; 2) *Aspergillus flavus*; 3) *Aspergillus fumigatus* dan 4) *Aspergillus terreus*.

(1) Kehidupan anaerob, untuk mikroba yang tidak memerlukan Oksigen (O_2), dan (2) kehidupan aerob, untuk mikroba yang memerlukan Oksigen. Secara fisiologis adanya fermentasi dapat digunakan untuk mengetahui beberapa hal. Oksigen umumnya diperlukan mikroba sebagai agensia untuk mengoksidasi senyawa organik menjadi karbondioksida (CO_2). Reaksi oksidasi tersebut dikenal sebagai “respirasi aerob”, yang menghasilkan tenaga untuk kehidupan mikroba dan pertumbuhannya. Mikroba lain dapat memperoleh tenaga dengan jalan memecahkan senyawa organik secara fermentasi anaerob, tanpa memerlukan oksigen. Organisme atau mikroorganisme yang mampu mengubah karbon dioksida anorganik (CO_2) menjadi senyawa organik (O_2) bersifat autotrof, contoh; tumbuhan dan cyanobacteria. Heterotrop membutuhkan senyawa karbon organik sebagai nutrisi yang disuplai oleh autotrof. *Escherichia coli* adalah heterotrof. Beberapa jenis mikroba bersifat obligat anaerob atau anaerob sempurna. Jenis lain bersifat fakultatif anaerob, yaitu mempunyai dua mekanisme untuk mendapatkan energi. Apabila ada oksigen, energi diperoleh secara respirasi an aerob.

9.3 Mikroorganisme Bermanfaat Bagi Manusia

Jamur dalam kehidupan manusia mempunyai peranan yang sangat penting, baik peranan yang menguntungkan maupun yang merugikan. Sebagian besar jamur hidup sebagai saprofit yaitu hidup pada sisa-sisa tanaman yang membantu juga dalam proses dekomposisi. Mikroorganisme (mikroba), seperti *Bacillus thuringiensis* (Bt) memiliki kemampuan sebagai agensia untuk mengendalikan serangga hama, terus dikembangkan sebagai pengendalian hayati. Jamur juga dapat dimanfaatkan manusia antara lain untuk proses fermentasi, penghasil antibiotik, sumber makanan (konsumsi), agen biokontrol organisme pengganggu tanaman, agen penginduksi ketahanan tanaman terhadap patogen, perangsang pertumbuhan tanaman (*Plant Growth Promoting Fungi*), sebagai pupuk hayati, dan agen bioremediasi senyawa-senyawa toksik.

Penerapan bioteknologi pertanian berupa pemanfaatan *Bacillus thuringiensis* (Bt) memiliki kemampuan untuk mengendalikan serangga hama, begitu pula teknologi pengendalian melalui metode pemandulan serangga. Dalam pertanian berkelanjutan, aspek ekonomi ditunjukkan dengan meningkatnya penghasilan petani dibarengi produksi pertanian secara kontinyu agar tercapainya kecukupan kebutuhan secara berkelanjutan.

1. Penggunaan mikroba untuk proses-proses klasik, seperti khamir untuk membuat anggur dan roti, bakteri asam laktat untuk yogurt dan kefir, bakteri asam asetat untuk vinegar, jamur *Aspergillus* sp. untuk kecap, dan jamur *Rhizopus* sp. untuk tempe.
2. Penggunaan mikroba untuk produksi antibiotik, antara lain penisilin oleh jamur *Penicillium* sp., streptomisin oleh *Actinomysetes* sp., *Streptomyces* sp.
3. Penggunaan mikroba untuk proses-proses baru, misalnya karotenoid dan steroid oleh jamur, asam glutamat oleh mutan *Corynebacterium glutamicum*, pembuatan enzim amilase, proteinase, pektinase, dan lain-lain.
4. Penggunaan mikroba dalam teknik genetika modern, seperti untuk pemindahan gen dari manusia, binatang, atau tumbuhan ke dalam sel mikrobial, penghasilan hormon, antigen, antibodi, dan senyawa lain misalnya insulin, interferon, dan lain-lain.

5. Penggunaan mikroba di bidang pertanian, misalnya untuk pupuk hayati (*biofertilizer*), biopestisida, pengomposan, dan sebagainya.
6. Penggunaan mikroba di bidang pertambangan, seperti untuk proses *leaching* di tambang emas, desulfurisasi batubara, maupun untuk proses penambangan minyak bumi.
7. Penggunaan mikroba di bidang lingkungan, misalnya untuk mengatasi pencemaran limbah organik maupun anorganik termasuk logam berat dan senyawa xenobiotik.

9.3.1 Kesehatan

Makanan dalam kemasan kebanyakan ditumbuhi bakteri an aerob jenis *Clostridium*, karena bertahan dalam kemasan walaupun tertutup rapat pada suhu cukup tinggi. Kulit manusia tidak terlepas dari kontaminasi mikroorganisme, seperti: bakteri *Staphylococcus aureus*, *S. epidermidis*, *Micrococcus* sp., *Streptococcus alpha*, *Nonhemolyticus* dan *Bacillus* sp. Keberadaan *Staphylococcus* melalui mekanisme masuk melalui mulut, inhalasi atau kulit, selanjutnya menimbulkan infeksi pada folikel rambut dan kelenjar keringat, bisul, jerawat, meningitis, impertigo dan lainnya (Mostwaledi, 2011). Bakteri *Lactobacillus acidophilus* dan *L. bifidobakteria* (bifidus) berfungsi sebagai eliminasi racun dengan menurunkan senyawa racun nitrat yang dihasilkan mikroorganisme. Kedua bakteri ini mampu meningkatkan sistem imun (kekebalan tubuh) akibat dari antibodi yang terbentuk oleh rangsangan bakteri ini.

9.3.2 Pertanian

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa mikrobia berperan atas perubahan kimiawi yang terjadi di dalam tanah. Peranan mikrobia dalam beberapa siklus unsur hara yang penting, seperti siklus Karbon, Nitrogen, Sulfur, ditunjukkan oleh Winogradsky dan Beijerinck. Winogradsky menemukan bakteri yang mempunyai fisiologi khusus, yang disebut bakteri *autotrof*. Bakteri ini dapat tumbuh pada lingkungan yang seluruhnya anorganik. Energi diperoleh dari hasil oksidasi senyawa *anorganik* tereduksi, dan menggunakan CO₂ sebagai sumber Karbon. Bakteri *autotrof* dapat dicirikan dari kemampuannya menggunakan bahan *anorganik*. Sebagai contoh, bakteri Belerang dapat mengoksidasi

senyawa belerang anorganik. Penemuan lain bersama Beijerinck adalah adanya bakteri penambat Nitrogen non-simbiotik dan simbiotik, yang dapat memanfaatkan Nitrogen dalam bentuk gas N_2 . Namun tidak sedikit pula mikroba penghuni tanah bersifat patogen bagi manusia, seperti: protozoa, jamur, bakteri dan virus, yang memerlukan inang atau host sebagai tempat melangsungkan hidupnya.

9.3.3 Industri

Bakteri dan jamur termasuk khamir memiliki kemampuan dalam pengolahan makanan melalui proses fermentasi, misalnya: fermentasi pembuatan wine, alkohol, asam laktat. Pemanfaatan plasmid bakteri untuk menyisipkan gen yang diinginkan dalam bioteknologi teknik rekayasa genetika dapat memberikan keunggulan. Keberadaan mikroorganisme dalam suatu media tumbuh dapat memberikan perubahan susunan kimia dari media tersebut. Perubahan susunan kimia inilah sebagai akibat dari peristiwa fermentasi. Penelitian dengan mengeksplorasi beberapa mikroorganisme kelompok khamir terus dilakukan mengingat banyaknya jenis khamir yang belum diketahui. Khamir yang memiliki aktivitas enzim lipase dapat diketahui bila adanya zona bening disekitar khamir (Ayadi *et al.*, 2018; Raj *et al.*, 2016; Suanda, 2023a). Zona bening yang ditunjukkan sebagai akibat aktivitas hidrolisis enzim lipase pada lipid menjadi asam lemak dan gliserol yang terkandung dalam media. Jenis khamir yang mampu menghasilkan bioetanol, seperti: *Saccharomyces cerevisiae* yang memiliki kemampuan tumbuh pada substrat memiliki kandungan glukosa tinggi, diantaranya: buah apel, stroberi, anggur, buah wani, ketela ungu dan sebagainya.

Pengemasan bahan pangan adalah suatu cara pengolahan/pengawetan dengan memasukkan bahan pangan ke dalam suatu wadah berupa kemasan yang ditutup rapat untuk menyelamatkan bahan makanan dari proses pembusukan oleh mikroba. Wadah dipilih untuk kemasan makanan karena sifatnya yang kedap udara, relative ringan, mudah dibentuk, digunakan sebagai pengemas pada produk aseptik (bebas infeksi).

9.4 Mikroorganisme Merugikan Manusia

Kerusakan mikrobiologi makanan kemasan ada 1) tidak berbetuk gas, misalnya keruskan “*flat sour*” (busuk asam tanpa gas), dari luar kemasan terlihat normal namun produk yang ada di dalam menjadi asam. Kerusakan makanan sebagai produksi industri, seperti *Bacillus sterarothermopillus* yang tumbuh pada produk sosis, bakso, opor ayam, tuna kemasan (makanan berasam rendah) dan *Bacillus coagulans* pada makanan asam, misalnya pickle dan 2) berbentuk gas. Bau busuk asam sebagai akibat pembentukan asam oleh bakteri pembentuk spora tergolong *Bacillus*. *Enterohaemorrhagic E. coli* 0157:H7 diketahui sebagai bakteri patogen penyebab *foodborne diseases*, banteri ini ditemukan pada sayuran akibat penggunaan kotoran sapi sebagai pupuk (Rorong dan Wilar, 2020). *Escherichia coli* sebagai mikroflora alami penghuni saluran pencernaan manusia dan hewan, seperti: enterotoksigenik, enterohaemorrhagik, enteropatogenik, enteroinvasive, dan enteroagregatif. Enterotoksigenik *E. coli* merupakan penyebab diare menimbulkan penyakit diare pada manusia. *Clostridium botulinum* merupakan patogen berbahaya pada makanan kemasan karena dapat menimbulkan keracunan botolinum. Keracunan botolinum ditandai : tenggorokan kaku, mata berkunang-kunang, kejang-kejang dan sukar bernapas.

Kontak langsung yang terjadi dengan beberapa area sumber patogen, seperti: hidung, benda rumah tangga, peralatan di kantor, pegangan naik tangga di pasar yang rentan terhadap bakteri menjadi peluang besar terkontaminasi mikroorganisme (Linjani, 2008). Bakteri *Bacillus subtilis*, *Micrococcus luteus*, *Bacillus cereus*, *Kocuria atrina* dan *Staphylococcus epidermidis* yang ditemukan pada pegangan eskalator dan mesin ATM menyebabkan infeksi kulit, infeksi saluran kemih, meningitis, endocarditis, infeksi mata dan lainnya (Aldosary, 2016). Oleh karena itu *Staphylococcus sp.* menjadi salah satu bakteri penyebab infeksi dan sebagai patogen utama pada manusia (Jawett *et al.*, 2005). *S. aureus* dan *S. koagulase* pada umumnya menempati flora normal usus. *Tetanus Neonaturum* yang dihasilkan *Clostridium tetani* umumnya menjadi masalah bagi bayi baru lahir. Begitu pula limbah tinja yang terserap dalam tanah menjadi sumber mikroba penyebab penyakit diare.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayadi, I; Belghith, H; Gargouri, A and Guerfali, M. 2018. Screening of New Oleaginous Yeasts for A Single Cell Oil Production, Hydrolytic Potential Exploitation and Agro-industrial by-Products Valorization. *Process Safety and Enviromental Protection*, 119, 104-114. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.07.012>
- Aldosary, S.K.A. 2016. Handborne Transmission of Infectious Agents by Escalator Handrails, Shopping Carts, and Automated Teller Machines (ATMs). *Science and Technology*. 14(1): 128-130
- Asnah. 2010. Inventarisasi Jamur Makroskopis di Ekowisata Tangkahan Taman Nasional Gunung Leuser Kabupaten Langkat Sumatera Utara. [Tesis]. Program Studi Magister Biologi FMIPA USU. Medan.
- Armawi. 2009. Pengaruh Tingkat Kemasakan Buah Kelapa dan Konsentrasi Air Kelapa pada Media Tanam terhadap Pertumbuhan Jamur Tiram Putih. Malang. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang.
- Bourdichon, F; Casaregola, S; Farrokh, C; Frisvad, J.C; Gerds, M.L; Hammes, W.P; Harnett, J; Huys, G; Laulund, S; Ouwehand, A; Powell, I.B; Prajapati, J.B; Seto, Y; Schure, E.T; Boven, A.V; Vankerckhoven, V; Zgoda, A; Tuijtelaars, S and Hansen, E.B. 2012. Food fermentations: Microorganisms with technological beneficial use. *International Journal of Food Microbiology*; 154: 87-97.
- Barth, M; Hankinson, T.R; Zhuang, H and Breidt, F. 2010. Microbiological Spoilage of Fruits and Vegetables. *Food Microbiology and Food Safety*; 135-174. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0826-1_6.
- Carroll, K.C; Butel, J.S; Morse, S.A and Timothy, M. 2016. Jawetz, Melnick & Adelberg Medical Microbiology 27th Edition. New York: Mc Graw Hill Education.
- Dina, K. 2016. Identifikasi Pertumbuhan *Aspergillus* sp. pada Roti Tawar yang dijual di Kota Padang. Berdasarkan Suhu dan Lama Penyimpanan. *Jurnal Kesehatan Andalas*. Padang.

- Darmadi. 2008. Enfeksi Nosokomial Problematika dan Pengendaliannya. Salemba Medika.
- Kubo, Y; Rooney, A.P; Tsukakoshi, R; Nakagawa, Y; Hasegawa, H and Kimura, K. 2011. Phylogenetic Analysis of *Bacillus subtilis* Strains Applicable to Natto (Fermented Soybean) Production. *Applied and Environmental Microbiology*; 77: 6346-6349.
- Mostwaledi, M.H. 2011. Impetigo in Children: A Clinical Guide and Treatment Options.
- Musyafa. 2005. Peranan Makrofauna Tanah dalam Proses Dekomposisi Serasah *Acacia mangium* Willd. *Biodiversitas*; 6(1): 63-65
- Pratiwi, S.T. 2008. Mikrobiologi Farmasi. Erlangga. Jakarta: 150-171.
- Padoli (2016) Mikrobiologi dan Parasitologi Keperawatan. Jakarta Selatan: Pusdik SDM Kesehatan, Kementerian Kesehatan RI.
- Prayoga, Y; Tengkano, W dan Marwoto. 2005. Prospek Cendawan Entomopatogen *metharizium anisopliae* untuk Mengendalikan Ulat Grayak (*Spodoptera litura*) pada Kedelai. *Jurnal Litbang Pertanian*; 24(1): 19-23.
- Raj, A; Baby, G; Dutta, S; Sarkar, A dan Rao, K.V.B. 2016. Isolation, Characterization and Antioxidant Activity of Lipase Enzyme Producing Yeast Isolated from Spoiled Sweet Sample. *Scholars Research Library*; 8(10): 129-135.
- Rorong, J.A dan Wilar, W.F. 2020. Keracunan Makanan oleh Mikroba. *Kimia Analitik Lingkungan Jurusan Kimia FMIPA Unsrat Manado. Techno Science Journal* 2(2): 47-60
- Suanda, I.W. 2023a. Metode Pengambilan Sampel dan Kultur Mikroba dari lingkungan Dalam Buku Mikrobiologi Lingkungan. Universitas PGRI Mahadewa Indonesia. Denpasar. Penerbit: PT Global Eksekutif Teknologi. Padang. Sumatra Barat. hal. 99-114.
- https://drive.google.com/file/d/1PmIghNLFV_jN-YVvyef7DPdViCBD9Kfr/view?usp=sharing
- Suanda, I W. 2023b. Stroberi Sehat “Petik Langsung” *Trend Agrowisata*. Universitas PGRI Mahadewa Indonesia. Denpasar. Penerbit: PT Global Eksekutif Teknologi. Padang. Sumatra Barat. 68 hal.

- <https://globaleksekutifteknologi.co.id/stroberi-sehat-petik-langsung-trend-agrowisata/>
- Suanda, I.W. 2020. Bioteknologi Pertanian Mendukung Pertanian Berkelanjutan dalam Book Chapter Pertanian Berkelanjutan Sebuah Pendekatan Konsep dan Praktis. Penerbit: Swasta Nulus. Denpasar. 178 hal.
- <https://drive.google.com/file/d/13MOrYloskcY-b-W8ZhMX3X1zSunsJPDX/view?usp=sharing>
- Sengun, I.Y and Karabiyikli, S. 2011. Importance of Acetic Acid Bacteria in Food Industry. *Food Control*; 22: 647–656.
- Soelistya, D dan Jekti, D. 2018. Peranan Mikroba Dalam Pengelolaan Lingkungan', in Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi.
- Singh, D; Raina, T.k; and Singh, J. 2017. Entomopathogenic Fungi: An Effective biocontrol agent for Management of Insect Population naturally; *J. pharm. Sci. & Res*; 9(6): 830-839.
- Suin, N.M. 2002. Metoda Ekologi. Universitas Andalas. Padang.
- Schwan, R.F and Wheals, A.E. 2004. The Microbiology of Cocoa Fermentation and its Role in Chocolate Quality. *Food Science and Nutrition*; 44 (4): 205-221.
- Trizelia. 2001. Pemanfaatan *Bacillus thuringiensis* untuk Pengendalian Hama *Crocidolomia binotalis*. Makalah Falsafah Sains. Program Pascasarjana (S3). Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Waluyo, L. 2016. Mikrobiologi Umum. Malang: UMM Press.
- Xiao, J.Z; Takahashi, S; Nishimoto, M; Odamaki, T; Yaeshima, T; Iwatsuki, K and Kitaoka, M. 2010. Distribution of in Vitro Fermentation Ability of Lacto-N-Biose I, A Major Building Block of Human Milk Oligosaccharides, in Bifidobacterial Strains. *Applied and Environmental Microbiology*; 76: 54-59.

BAB 10

TUMBUHAN: KEHIDUPAN HIJAU

Oleh Ite Morina Yostianti Tnunay

10.1 Pendahuluan

Tumbuhan merupakan jenis organisme yang berfungsi untuk menghasilkan bahan makanan bagi organisme hidup lainnya. Secara morfologi tumbuhan mempunyai dua kelompok organ utama yaitu vegetatif berupa akar, batang, serta daun, dan organ generatif berupa bunga, buah, dan biji. Berdasarkan struktur anatominya, tumbuhan terdiri dari jaringan muda atau meristem dan jaringan dewasa berupa jaringan pelindung, jaringan dasar, jaringan penguat, jaringan pengangkut, dan jaringan sekretori.

10.2 Morfologi Tumbuhan

10.2.1 Akar

Akar adalah organ tumbuhan di dalam tanah yang tumbuh menuju pusat bumi (geotropi), dapat juga menuju ke air (hidrotrop) dan ke permukaan tanah. Akar tidak memiliki buku dan ruas, serta biasanya berbentuk bulat. Secara umum akar berperan sebagai organ penyerap unsur hara mineral dan air di dalam tanah, tempat penyimpanan cadangan makanan, dan menjadi penyokong berdirinya tumbuhan (Reece *et al.*, 2011). Akar terdiri atas beberapa bagian, meliputi (Samiyarsih *et al.*, 2020):

1. Pangkal atau leher akar: bagian yang bersambungan langsung dengan batang
2. Batang akar: bagian diantara pangkal akar dan ujung akar
3. Ujung akar: bagian termuda pada akar dan memiliki jaringan yang masih dapat bertumbuh
4. Cabang akar: bagian yang tumbuh dari batang akar
5. Serabut akar: cabang akar berbentuk serabut
6. Rambut akar: penonjolan pada sel epidermis akar berperan untuk menyerap air dan unsur hara
7. Tudung akar: pelindung ujung akar

Berdasarkan sistem perakaran, akar dibedakan atas dua jenis yakni akar tunggang dan serabut. Akar tunggang berasal dari akar lembaga yang terus bertumbuh hingga membentuk akar utama dan selanjutnya akan membentuk cabang-cabang akar. Akar tunggang umumnya dijumpai pada tumbuhan Dicotyledoneae, misalnya mangga dan nangka. Beberapa akar tunggang mengalami modifikasi sesuai fungsinya masing-masing, yaitu membentuk akar tombak misalnya pada wortel dan lobak serta akar gasing yang dijumpai pada bit dan bengkuang untuk menyimpan cadangan makanan; akar penunjang untuk mendukung tegaknya tumbuhan misalnya pada pandan; sebagai akar napas misalnya pada bakau (Reece *et al.*, 2011; Samiyarsih *et al.*, 2020). Sistem perakaran serabut ditemukan pada tumbuhan Monocotyledoneae. Akar serabut terbentuk karena akar lembaga tidak bertumbuh sehingga tumbuh sejumlah akar-akar besar pada pangkal akar. Beberapa akar serabut berukuran kecil seperti benang contohnya pada padi; bersifat kaku, keras dan agak besar seperti kelapa; dan berukuran besar misalnya pada pandan (Hasnunidah & Wiono 2019; Samiyarsih *et al.* 2020).

10.2.2 Batang

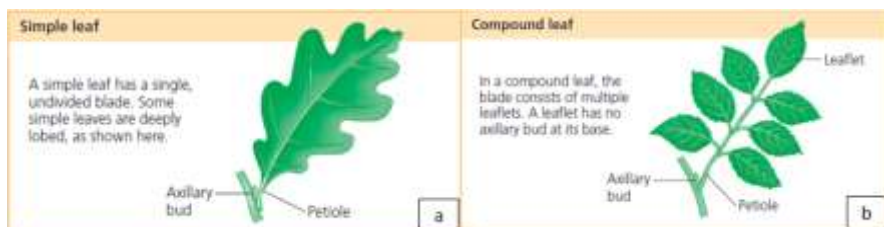
Batang merupakan organ pada tumbuhan berbentuk bulat, bersegi atau pipih menyerupai daun, beruas dan dibatasi oleh buku-buku yang menjadi tempat tumbuhnya daun. Batang mempunyai meristem apeks dan meristem lateral sehingga pertumbuhan batang selalu terjadi. Batang bermanfaat untuk mendukung daun mendapatkan sinar matahari dan menjadi struktur reproduksi beberapa tumbuhan yang membentuk bunga pada batang. Beberapa batang mengalami modifikasi untuk menjalankan fungsi tambahan misalnya menjadi tempat penyimpanan cadangan makanan dan sebagai alat reproduksi, yaitu umbi, rhizome, dan stolon (Reece *et al.*, 2011).

Beberapa tumbuhan tidak memiliki batang yang jelas misalnya pada lobak dan sawi. Tumbuhan dengan batang yang jelas dapat dibedakan dari organ vegetatif lainnya dan biasanya akan tumbuh cabang. Batang yang terlihat jelas terbagi atas batang basah,

batang berkayu, batang rumput tidak keras, beruas, dan berongga, dan batang mendong (Reece *et al.*, 2011; Samiyarsih *et al.*, 2020).

10.2.3 Daun

Daun ialah organ tumbuhan yang selalu berwarna hijau dan menjadi tempat utama dilakukannya fotosintesis. Organ daun dapat juga berperan dalam transpirasi, pelindung diri, tempat penyimpanan air, dan alat reproduksi vegetatif. Organ ini biasanya tumbuh pada buku-buku batang dan menghadap ke arah cahaya matahari. Umumnya, daun terbagi atas tiga bagian utama yaitu pelepah, tangkai, dan helaian daun. Berdasarkan pada banyaknya helaian daun pada satu tangkai, maka daun dibedakan atas daun tunggal dan daun majemuk (Gambar 10.1a dan 10.1b). Daun tunggal berarti satu tangkai hanya terdiri atas satu helaian daun misalnya daun nangka sedangkan pada daun majemuk satu tangkai memiliki lebih dari satu helaian daun seperti pada daun lamtoro. Daun majemuk dapat berupa daun majemuk menjari, menyirip, bangun kaki, dan campuran (Tjitrosoepomo, 1998; Samiyarsih *et al.*, 2020; Silalahi, 2015).



Gambar 10.1. Daun tunggal dan daun majemuk. a. daun tunggal, b. daun majemuk. (Sumber: Reece *et al.*, 2011)

Daun mempunyai bentuk/bangun, pangkal, ujung, tepi, permukaan, dan tulang daun yang bermacam-macam. Bentuk daun diantaranya bulat/bundar, perisai, jorong, oblong, lanset, bulat telur, segitiga, belah ketupat, jantung, ginjal, tombak, bertelinga, bulat telur terbalik, jantung terbalik, segitiga terbalik, sudip, garis, pita, pedang, paku, dan jarum. Pangkal dan ujung daun dapat berupa runcing, meruncing, tumpul, membulat, rompong, dan berlekuk. Tepi daun dapat rata atau bertoreh yang dikelompokkan menjadi

berlekuk menyirip, bercangap menyirip, berbagi menyirip, berlekuk menjari, bercangap menjari dan berbagi menjari. Pertulangan pada daun meliputi tulang daun menyirip, menjari, melengkung dan juga sejajar (Hasnunidah & Wiono, 2019; Samiyarsih *et al.*, 2020).

10.2.4 Bunga

Organ bunga termasuk dalam organ reproduksi pada tumbuhan terutama tumbuhan berbiji dan terbentuk dari modifikasi salah satu atau ketiga organ vegetatif. Bagian-bagian bunga meliputi tangkai bunga, dasar bunga perhiasan bunga berupa kelopak bunga dan mahkota bunga, kelamin jantan, dan kelamin betina. Kelopak bunga umumnya berwarna hijau sedangkan mahkota bunga biasanya berwarna lebih menarik. Beberapa bunga tidak memiliki daun mahkota yang disebut bunga telanjang, dan bunga yang kelopak dan mahkotanya tidak dapat dibedakan disebut tenda bunga. Alat kelamin jantan terdiri atas tangkai sari, kepala sari, dan penghubung ruang sari sedangkan alat kelamin betina terdiri dari bakal buah, tangkai putik, dan kepala putik (Silalahi, 2015; Samiyarsih *et al.*, 2020).

Berdasarkan letak munculnya bunga, bunga dikelompokkan menjadi bunga pada ujung batang dan bunga pada ketiak daun. Jumlah bunga dalam satu tangkai hanya dapat terdiri atas satu bunga atau disebut bunga tunggal dan dapat lebih dari satu bunga yang dikenal sebagai bunga majemuk. Bunga majemuk meliputi bunga majemuk tak terbatas misalnya bunga tandan, bulir, untai, tongkol, payung, cawan, bongkol, periuk, serta malai; bunga majemuk terbatas contohnya anak payung menggarpu, tangga, sekrup, sabit, serta kipas; dan bunga majemuk campuran meliputi bunga soka dan kenari (Silalahi, 2015; Samiyarsih *et al.*, 2020).

10.2.5 Buah

Buah merupakan organ yang dapat terbentuk apabila terjadi pembuahan. Saat pembuahan bakal buah akan berkembang menjadi buah dan bakal biji di dalam buah akan berkembang menjadi biji sedangkan bagian bunga lainnya biasanya gugur. Terkadang bagian-bagian bunga ikut berkembang bersama buah misalnya daun pelindung pada jagung, daun kelopak pada tomat, kepala putik pada

manggis, tangkai bunga pada jambu monyet, perhiasan bunga pada nangka, dan dasar bunga pada nanas. Beberapa buah berkembang tanpa adanya pembuahan sehingga buah yang dibentuk dapat memiliki biji tanpa lembaga atau tanpa biji. Proses ini disebut partenokarpi misalnya pada pisang (Tjitrosoepomo, 1998; Silalahi, 2015; Samiyarsih *et al.*, 2020).

Berdasarkan strukturnya buah dibedakan atas buah sejati dan buah semu. Buah sejati berarti buah yang terbentuk hanya dari bakal buah saja yaitu buah sejati tunggal pada mangga, sejati ganda pada cempaka, dan sejati majemuk pada pandan. Buah semu merupakan buah yang terbentuk dari bakal buah bersama bagian bunga lainnya, meliputi buah semu tunggal pada jambu monyet, buah semu ganda pada arbei, dan buah semu majemuk pada nangka (Silalahi, 2015; Samiyarsih *et al.*, 2020).

10.2.6 Biji

Biji merupakan hasil dari perkembangan bakal biji. Bagi Spermatophyta, biji menjadi alat perkembangbiakan utama karena lembaga ditemukan pada biji. Biji terdiri atas kulit biji, tali pusar, dan inti/isi biji. Inti biji mengandung lembaga atau embrio dan putik lembaga, putik lembaga menjadi penyedia makanan bagi lembaga ketika berkecambah. Lembaga terdiri atas calon akar, batang, dan daun. Tumbuhan dengan satu daun lembaga disebut tumbuhan berbiji tunggal (Monocotyledonae), dengan biji belah atau berkeping dua (Dicotyledonae), serta tumbuhan dengan daun lembaga lebih dari 2 yaitu 3-15 pada tumbuhan berbiji telanjang (*Gymnospermae*) (Silalahi, 2015; Samiyarsih *et al.*, 2020).

10.2 Struktur Jaringan Tumbuhan

Jaringan tumbuhan terbentuk dari kumpulan sel-sel yang berfungsi sama dan jaringan kemudian akan membentuk organ. Berdasarkan fungsinya pada tubuh tumbuhan, jaringan dibedakan atas jaringan muda/meristem dan jaringan dewasa. Jaringan meristem adalah jaringan yang tersusun atas sel-sel yang berdinding tipis, vakuola berukuran kecil, dan bentuknya teratur. Jaringan muda berfungsi untuk melakukan pembelahan sel dan melakukan diferensiasi untuk membentuk jaringan dewasa.

Berbeda dengan jaringan muda, jaringan dewasa memiliki sel yang tidak mempunyai aktivitas pembelahan, vakuola besar, dinding sel mengalami penebalan menyesuaikan dengan fungsi jaringannya, bentuknya tidak teratur, dan terdapat ruang antar sel (Reece *et al.*, 2011; Samiyarsih *et al.*, 2020).

Berdasarkan letaknya jaringan meristem dibedakan atas jaringan muda ujung (meristem apikal) yaitu sel-selnya terletak pada ujung organ tumbuhan, dan jaringan muda samping (meristem lateral) yakni sel-selnya terdapat pada samping organ tumbuhan, dan jaringan muda interkalar di mana sel-selnya berada di antara bagian-bagian organ. Berdasarkan perkembangannya jaringan meristem dikelompokkan menjadi jaringan muda primer yang berkembang dari promeristem, dan jaringan muda sekunder dari sel-sel dewasa yang berubah menjadi meristematik misalnya pada kambium (Samiyarsih *et al.*, 2020).

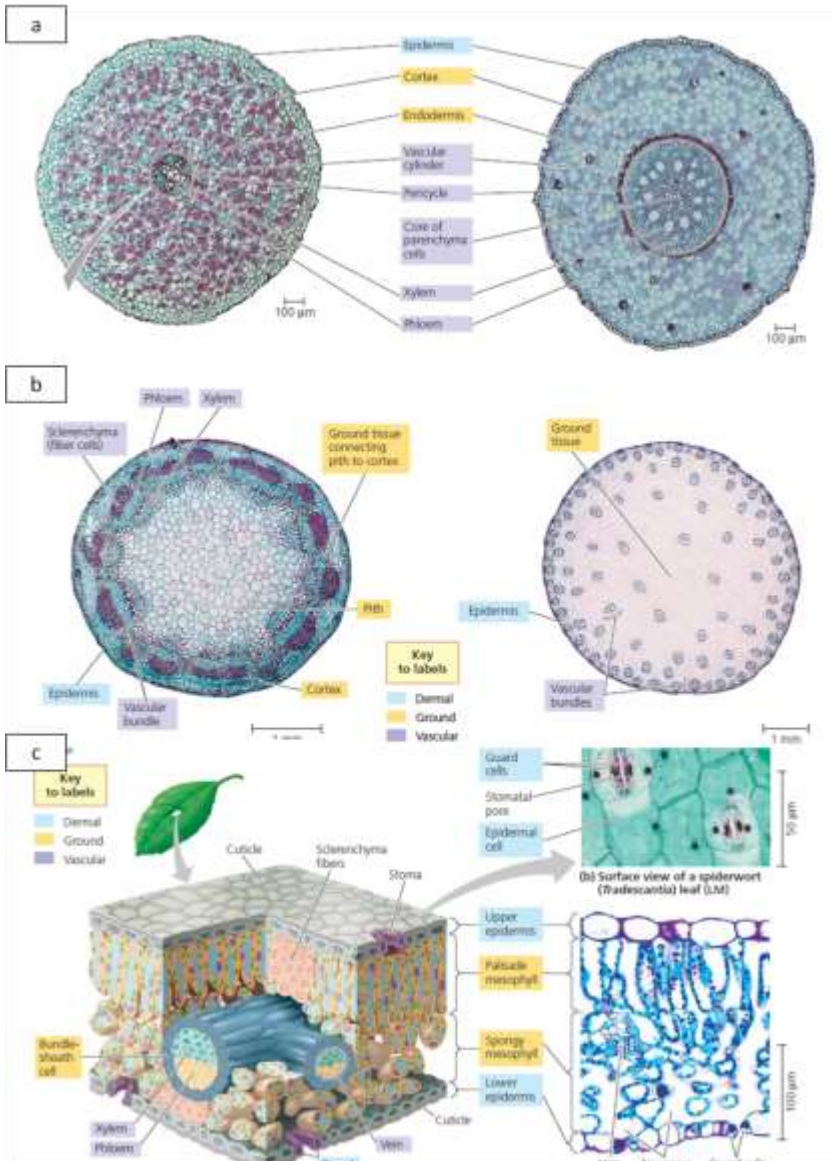
Menurut fungsinya jaringan dewasa terbagi atas jaringan pelindung (epidermis), jaringan dasar (parenkim), jaringan penguat (mekanik), jaringan pengangkut, dan jaringan sekretori. Jaringan epidermis merupakan jaringan pelindung tumbuhan terhadap kerusakan mekanik, suhu, dan kehilangan zat atau air. Jaringan epidermis juga mempunyai beberapa struktur tambahan yaitu stoma (jamak: stomata), trikoma, sel kipas, sel silika dan sel gabus. Jaringan dasar (parenkim) terdapat di seluruh organ tumbuhan, bermanfaat sebagai jaringan untuk mengisi, memberikan kekuatan bagi tumbuhan, tempat terjadinya fotosintesis (jaringan mesofil), dan tempat menyimpan cadangan makanan (endosperm). Berdasarkan fungsinya jaringan parenkim dibedakan atas parenkim asimilasi (klorenkim) untuk fotosintesis berupa jaringan tiang/palisade dan jaringan bunga karang/spons, parenkim penyimpan cadangan makanan, air, dan udara, serta parenkim pengangkut misalnya jari-jari empulur (Reece *et al.*, 2011; Samiyarsih *et al.*, 2020).

Jaringan penguat (mekanik) berperan untuk menyokong tumbuhan agar dapat berdiri tegak atau memberikan kekuatan bagi tumbuhan terhadap angin. Jaringan penguat dibedakan atas jaringan kolenkim dan jaringan sklerenkim. Jaringan pengangkut berfungsi mengangkut unsur hara dan air serta zat makanan.

Jaringan pengangkut terdiri atas jaringan xilem yang mengangkut unsur hara dan air dari akar ke organ yang membutuhkan serta jaringan floem yang mengangkut zat makanan dari daun ke seluruh organ tumbuhan. Jaringan sekretori adalah jaringan yang sel-selnya menyimpan zat-zat penyisihan tertentu. Penyisihan hasil asimilasi disebut sekresi, sebagian unsur dari dalam tanah yang disisihkan disebut rekresi, dan penyisihan hasil disimilasi disebut ekskresi. Jaringan sekretori terdiri dari sel atau jaringan rekresi meliputi hidatoda, kelenjar garam, dan idioblas; sel atau jaringan sekresi meliputi kelenjar madu, sel lendir; serta sel atau jaringan ekskresi berupa sel dan saluran getah, sel minyak, sel penyamak, kelenjar minyak, saluran gom, saluran damar, rambut kelenjar (trikoma) dan osmoforma (Reece *et al.*, 2011; Samiyarsih *et al.*, 2020).

10.3 Struktur Anatomi Organ Tumbuhan

Anatomi akar tumbuhan terdiri atas jaringan pelindung (epidermis), jaringan dasar (korteks), dan jaringan pengangkut (Gambar 10.2a.) Jaringan epidermis tersusun atas satu atau beberapa lapis sel. Sel pada epidermis akar mengalami penonjolan membentuk rambut akar yang dapat menjadi tempat penyerapan air dan unsur hara. Jaringan dasar atau korteks mengandung sel parenkim dan umumnya tidak mengandung klorofil. Bagian paling dalam korteks membentuk endodermis, yang mengandung lapisan suberin di bagian dinding antiklinalnya dan sering disebut pita Caspary. Jaringan pengangkut pada akar terletak pada tengah yang terdiri dari xilem dan floem (Reece *et al.*, 2011; Samiyarsih *et al.*, 2020).



Gambar 10.2. Struktur anatomi jaringan tumbuhan. a. akar; b. batang; c. daun. (Sumber: Reece *et al*, 2011)

Struktur anatomi akar tersusun oleh jaringan pelindung (epidermis), jaringan dasar (korteks dan empulur), dan jaringan pengangkut (berkas pembuluh) seperti pada Gambar 2b. Jaringan

epidermis terletak paling luar dan terdiri atas satu lapis sel dan kadang dijumpai derivat epidermis berupa trikoma. Jaringan dasar berupa korteks dan empulur terdiri atas sel-sel parenkim yang berisi kloroplas. Jaringan pengangkut terdiri dari xilem dan floem dengan ikatan pembuluh yang beragam misalnya kolateral, bikolateral, konsentris amfikribal, konsentris amfivasal dan radial (Reece *et al.*, 2011; Samiyarsih *et al.*, 2020).

Anatomi organ daun terdiri atas tiga jaringan yaitu jaringan pelindung (epidermis dan derivatnya), jaringan dasar (mesofil), dan jaringan pengangkut seperti terlihat pada Gambar 2c. Jaringan epidermis atas dan bawah daun memiliki struktur yang berbeda. Epidermis dilengkapi dengan struktur tambahan misalnya stomata, sel kipas, dan trikoma. Jaringan dasar pada daun berfungsi sebagai tempat fotosintesis yang terdiri atas jaringan tiang (jaringan palisade) dan jaringan bunga karang (spons). Jaringan palisade mempunyai sel berbentuk memanjang, rapat, dan banyak mengandung kloroplas sedangkan jaringan spons mempunyai sel dengan bentuk memanjang, membulat, tidak rapat, dan mempunyai banyak ruang antar sel serta kandungan kloroplasnya lebih sedikit dibandingkan jaringan palisade. Jaringan pengangkut pada daun terdiri atas xilem dan floem yang tersusun pada tulang-tulang daunnya (Reece *et al.*, 2011; Samiyarsih *et al.*, 2020).

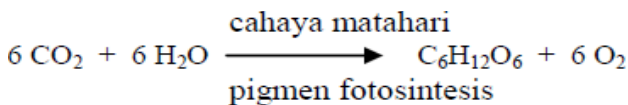
10.4 Fisiologi Tumbuhan

10.4.1 Transpirasi

Transpirasi diartikan sebagai proses hilangnya air dari jaringan tumbuhan berbentuk uap air melalui stomata atau jaringan tubuh lainnya. Proses transpirasi membantu tumbuhan dalam meningkatkan laju pengangkutan unsur hara melalui xilem, menjaga turgiditas sel, dan membantu menstabilkan suhu daun. Laju transpirasi pada masing-masing tumbuhan berbeda bergantung pada faktor internal yang mempengaruhi membuka dan menutupnya stomata (potensi osmotik sel penjaga dan hormon Asam Absisat), kelembapan udara di sekitar tumbuhan, suhu udara, dan suhu daun, serta keberadaan angin (Taiz & Zeiger 2002; Lakitan 2013; Anggorowati & Hardiyati, 2021).

10.4.2 Fotosintesis

Berdasarkan asal katanya fotosintesis diartikan sebagai sintesis yang membutuhkan cahaya. Kemampuan tumbuhan untuk melakukan fotosintesis menyebabkan tumbuhan menjadi produsen atau penghasil makanan bagi organisme lainnya. Tumbuhan akan memanfaatkan energi matahari untuk melakukan sintesis karbon. Selain cahaya matahari, tumbuhan juga membutuhkan air dan karbondioksida untuk menghasilkan oksigen dan karbohidrat (glukosa). Energi cahaya diubah menjadi energi kimia oleh pigmen fotosintesis yang terdapat pada membran internal atau tilakoid. Pigmen fotosintesis yang utama ialah klorofil dan karotenoid. Reaksi fotosintesis terjadi sebagai berikut.



Fotosintesis terbagi atas dua tahapan utama, yaitu tahapan reaksi terang dan tahapan reaksi gelap. Reaksi terang menggunakan energi cahaya matahari sedangkan reaksi gelap tidak menggunakan cahaya matahari tetapi reaksi gelap tidak dapat berjalan jika reaksi terang tidak terjadi. Reaksi terang akan menghasilkan energi dalam bentuk ATP dan NADH yang kemudian dimanfaatkan pada reaksi gelap. Reaksi terang terjadi pada granum (tunggal: grana) dan reaksi gelap terjadi di stroma. Reaksi terang akan memecahkan molekul air dengan bantuan cahaya (fotolisis) serta menghasilkan Oksigen (O_2) sedangkan pada reaksi gelap akan dihasilkan glukosa (Taiz & Zeiger 2002; Lakitan 2013; Anggorowati & Hardiyati, 2021).

Reaksi terang dimulai dengan penyerapan cahaya oleh fotosistem I dan II. Prinsipnya, ketika penyerapan cahaya, masing-masing molekul hanya mampu menyerap satu foton/cahaya pada suatu waktu tertentu dan foton ini mengakibatkan terjadi eksitasi pada satu elektron di sebuah molekul. Prinsip ini disebut Hukum Stark-Einstein. Elektron valensi yang dijumpai pada orbit dasar yang bersifat stabil merupakan elektron yang dapat tereksitasi dan kemudian didorong menjauhi inti yang bermuatan positif dan jaraknya sebanding dengan besarnya energi foton yang diserap oleh

pigmen. Molekul-molekul pigmen penyerap cahaya yang telah menangkap foton selanjutnya berada pada kondisi tereksitasi. Energi eksitasi tersebut yang selanjutnya digunakan oleh tumbuhan guna melakukan fotosintesis (Taiz & Zeiger 2002; Lakitan 2013; Anggorowati & Hardiyati, 2021).

Reaksi gelap disebut reaksi fiksasi karbon atau siklus Calvin. Siklus Calvin terdiri atas 3 tahapan utama yaitu karboksilasi (pengikatan karbon dioksida), reduksi, dan regenerasi. Reaksi gelap diawali dengan pengikatan molekul karbon dioksida dari udara dengan molekul organik berupa Ribulosa 1,5 Bifosfat yang ada di dalam kloroplas. Siklus karbon kemudian mereduksi karbon terfiksasi untuk membentuk karbohidrat dengan menambahkan elektron-elektron. Energi pereduksi karbon disediakan oleh NADPH yang mendapatkan elektron dari proses reaksi terang. Guna mengubah karbon dioksida membentuk karbohidrat, juga dibutuhkan energi dalam bentuk ATP yang diperoleh melalui reaksi terang (Taiz & Zeiger 2002; Lakitan 2013; Anggorowati & Hardiyati, 2021).

10.4.3 Respirasi

Respirasi termasuk proses katabolik atau proses pembongkaran molekul kompleks menjadi molekul sederhana. Selama respirasi, molekul yang dipecah adalah glukosa untuk menghasilkan karbondioksida, air dan energi (38 ATP). Respirasi pada tumbuhan membutuhkan oksigen (aerob) serta melibatkan sitosol dan mitokondria. Membran pada mitokondria berperan dalam proses transport elektron untuk menghasilkan energi biologis siap pakai (ATP, FADH, NADH) dan merupakan kompartemen yang mengkatalis berbagai reaksi. Proses respirasi dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu: (1) glikolisis: pemecahan glukosa menjadi piruvat; (2) oksidasi piruvat membentuk asetil koA; (3) siklus Krebs; dan (4) tranpor elektron dan fosforilasi oksidatif. Glikolisis terjadi di sitosol sedangkan oksidasi piruvat, siklus Krebs, tranpor elektron dan fosforilasi oksidatif terjadi di mitokondria (Taiz & Zeiger 2002; Lakitan 2013; Anggorowati & Hardiyati, 2021).

DAFTAR PUSTAKA

- Anggorowati, S. & Hardiyati, T. 2021. *Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: Penerbit Universitas Terbuka.
- Hasnunidah, N. & Wiono W. J. 2019. *Botani Tumbuhan Tinggi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Lakitan, Benyamin. 2013. *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., Jackson, R. B., Campbell, N. A. 2011. *Biology*. San Fransisco: Pearson Education, Inc.
- Samiyarsih, S., Suwandi, H., & Sumarono. 2020. *Struktur Tumbuhan*. Jakarta: Penerbit Universitas Terbuka.
- Silalahi, Marina. 2015. *Morfologi Tumbuhan*. Jakarta: Prodi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Kristen Indonesia.
- Taiz L, & Zeiger E. 2002. *Plant Physiology Sixth Edition*. Sunderland: Sinauer Associates, Inc.
- Tjitrosoepomo, Gembong. 1988. *Morfologi Tumbuhan*. Yogyakarta: UGM Press.

BAB 11

HEWAN: MENJELAJAHI DUNIA BINATANG

Oleh Juhardi Sembiring

11.1 Definisi Hewan dari Sudut Pandang Sains

Kita pasti pernah memperhatikan bahwasanya ada banyak jenis hewan yang terdapat di dunia ini. Bila kita amati dan perhatikan lebih jauh bahkan ditemukan yang satu jenis saja ternyata bisa berbeda-beda. Di dunia salah satu Negara yang terkenal dengan keanekaragaman hayatinya adalah Indonesia. Keanekaragaman hayati yang terdapat di Indonesia sangat luar biasa, misalnya dalam hal keanekaragaman hewan (fauna). Terdapat banyak hal yang luar biasa terkait kehidupan hewan (fauna) di Indonesia yang mungkin banyak diketahui orang-orang, akan tetapi bila dicermati lebih dalam lagi masih banyak hal-hal yang menakjubkan tentang dunia hewan.

Komodo misalnya, komodo merupakan jenis kadal terbesar yang ada di dunia dan jenis hewan tersebut hanya bisa kita temukan di Indonesia. Komodo merupakan salah satu fakta hal yang paling unik sekaligus menakjubkan dari fakta-fakta lain tentang dunia hewan (fauna) di dunia khususnya di Negara Indonesia.

Pada Kamus Besar Bahasa Indonesia Hewan atau atau disebut juga binatang memiliki makna makhluk yang mampu bergerak (berpindah tempat), mampu bereaksi terhadap rangsangan, tetapi tidak berakal budi. Definisi dalam sains memaknai hewan atau binatang merupakan organisme eukariotik multiseluler yang membentuk kerajaan biologi animalia, menghirup oksigen, dapat bergerak, bereproduksi secara seksual dan tumbuh dari bola sel yang berongga, blastula, selama perkembangan embrio. Dalam hal ini hewan atau

binatang memiliki daya gerak, cepat tanggap terhadap rangsangan eksternal, tumbuh mencapai besar tertentu, memerlukan makanan bentuk kompleks, serta jaringan tubuhnya. Hewan dapat berorganisasi, yang berarti bahwa tiap bagian dari tubuhnya merupakan subordinat dari individu sebagai keseluruhan baik sebagai bagian suatu sel maupun seluruh sel. Inilah yang disebut konsep organisme, suatu konsep penting dalam biologi.

Hewan atau disebut juga binatang juga memiliki ciri-ciri yang disebut heterotrofik yakni organisme yang membutuhkan senyawa organik di mana karbon diekstrak untuk pertumbuhannya. Heterotrof dikenal sebagai “Konsumer” atau tidak dapat membuat makanan sendiri dalam rantai makanan dan hanya bergantung pada yang lain. Keunikan hewan yang lain adalah adanya dua jaringan yang bertanggung jawab atas pengantaran impuls dan pergerakan, yaitu jaringan saraf dan jaringan otot sehingga dapat bergerak secara aktif. Alat pernafasan pada hewan bermacam-macam tergantung pada habitatnya (tempat hidupnya).

11.2 Klasifikasi Hewan Berdasarkan Struktur Tubuh

Berdasarkan Klasifikasinya, Hewan atau binatang ini terbagi menjadi 2 kelompok besar, diantaranya adalah Vertebrata yaitu Hewan yang memiliki tulang belakang dan Avertebrata yang merupakan hewan yang tidak memiliki tulang belakang. Pada dasarnya, klasifikasi hewan yang menjadi Vertebrata dan Avertebrata ini merupakan klasifikasi berdasarkan struktur tubuh hewan atau binatang.

11.2.1 Hewan Vertebrata

Hewan vertebrata adalah golongan hewan yang memiliki tulang belakang. Tulang belakang berasal dari perkembangan sumbu penyangkong tubuh primer atau notokorda (korda dorsalis). Notokorda vertebrata hanya ada pada masa embrionik, setelah dewasa akan mengalami penulangan menjadi sistem penyangkong tubuh sekunder, yaitu tulang belakang (vertebrae).

Dalam sistem klasifikasi, vertebrata merupakan subfilum dari filum Chordata. Chordata meliputi hewan-hewan yang memiliki ciri-ciri sebagai berikut ; Memiliki notokord, yaitu kerangka berbentuk batangan keras tetapi lentur. Notokord terletak di antara saluran pencernaan dan tali saraf, memanjang sepanjang tubuh membentuk sumbu kerangka; Memiliki tali saraf tunggal, berlubang terletak dorsal terhadap notokord, dan memiliki ujung anterior yang membesar berupa otak; Memiliki ekor yang memanjang ke arah posterior terhadap anus ; Memiliki celah faring.

Vertebrata mempunyai bentuk tubuh yang bertipe simetri bilateral dan bagian organ dalam dilindungi oleh rangka dalam atau endoskeleton, khusus bagian otak yang dilindungi oleh tulang-tulang tengkorak (kranium). Bagian terluar tubuh hewan vertebrata berupa kulit yang tersusun atas epidermis (lapisan luar) dan dermis (lapisan dalam).

Kulit hewan vertebrata ada yang tertutup dengan bulu dan ada juga yang tertutup dengan rambut. Organ dalam, seperti organ pencernaan, jantung, dan pernapasan terdapat didalam suatu rongga tubuh atau selom. Selain itu, hewan vertebrata memiliki alat tubuh yang lengkap, yang menyusun sistem organ tubuhnya meliputi sistem pencernaan yang memanjang dari mulut hingga anus, sistem peredaran darah tertutup (darah mengalir di dalam pembuluh darah), alat ekskresi berupa ginjal, alat pernapasan berupa paru-paru atau insang, sepasang alat reproduksi (kanan dan kiri) serta sistem endokrin yang berfungsi menghasilkan hormon. Hewan vertebrata terbagi menjadi 5 kelompok yakni Pisces, Amfibi, Reptil, Aves, dan Mamalia.

1. Pisces

Hewan jenis ini memiliki sirip yang berfungsi sebagai navigasi atau menentukan arah gerak di dalam air dan memiliki gurat sisi yang berfungsi untuk mengetahui tekanan air. Hewan ini memiliki alat pernafasan yang disebut insang. Bersifat *poikiloterm* (hewan berdarah dingin), yakni hewan yang suhu tubuhnya disesuaikan

dengan lingkungan. Pisces berkembang biak dengan cara *ovipar* (bertelur).

Berdasarkan jenis tulangnya pisces (Ikan) dibagi menjadi dual kelompok, yaitu:

- a. Ikan bertulang rawan, beberapa contoh ikan bertulang rawan antara lain ikan pari, ikan hiu dan ikan cucut. Ikan bertulang rawan ini juga dikenal dengan sebutan ilmiah kelompok ikan *Chondrichthyes*.
- b. Ikan bertulang sejati atau bertulang keras, beberapa contoh ikan jenis ini antara lain: ikan mas, ikan gurami, ikan tongkol, ikan nila dan ikan tuna. Dalam istilah ilmiah ikan ini juga disebut dengan kelompok ikan *Osteichthyes*

2. Amfibi

Amfibi (Amphibia), adalah jenis Hewan vertebrata (bertulang belakang) yang mampu hidup di dua alam (darat dan air). Hewan kelompok ini berdarah dingin (tidak mampu mengatur suhu badan sendiri). Selain itu hewan ini biasa bernafas dengan menggunakan 3 alat respirasi sekaligus, yaitu paru-paru, insang (saat jadi kecebong) dan kulit. Beberapa jenis katak, seperti salamander, dan caecilian ada yang hanya hidup di air dan ada yang hanya di darat. Namun habitatnya secara keseluruhan dekat dengan air dan tempat yang lembap seperti rawa dan hutan hujan tropis. Beberapa contoh hewan dalam kelompok amfibi adalah katak sawah, kodok puru dan salamander.

3. Reptil

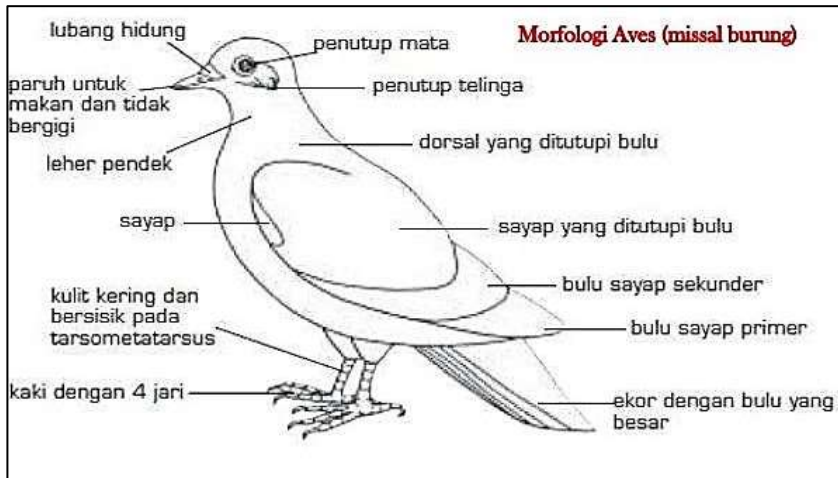
Reptil (Reptilia), adalah jenis hewan vertebrata melata yang memiliki ciri-ciri: tergolong poikilotherm yakni hewan yang menggunakan energi lingkungan untuk mengatur suhu tubuhnya, memiliki sisik yang menyelimuti seluruh tubuhnya terbuat dari zat tanduk (keratin). Sisik berfungsi mencegah kekeringan. Ciri lain yang dimiliki oleh sebagian besar reptil adalah: anggota tubuh berjari lima, bernapas dengan paru-paru, jantung memiliki ruang tiga atau

empat, fertilisasi secara internal, menghasilkan telur sehingga tergolong ovipar dengan telur bercangkang.

Tiga ordo besar dari Reptil yaitu *Chelonia* atau *Testudines* (reptilia bercangkang), *Squamata* atau *Lepidosauria* (reptilia dengan kulit bersisik), dan *Crocodylia* (bangsa buaya). Bangsa kura-kura mempunyai cangkang (perisai) yang keras disebut dengan karapaks (bagian atas) dan plastron (bagian bawah).

4. Aves

Aves atau lebih dikenal dengan istilah unggas yaitu satu diantara hewan vertebrata yang memiliki kemampuan untuk terbang. Hewan Aves atau unggas ini mempunyai bulu yang menyelimuti seluruh tubuhnya, selain itu ia juga memiliki alat gerak yang berupa kaki dan sayap. Meskipun Aves acapkali dipanggil sebagai hewan yang dapat terbang, namun ada beberapa jenis hewan yang masuk dalam kategori Aves tapi tidak bisa terbang misalnya saja Ayam, Bebek, Ansa dan Kalkun. Tulang aves umumnya berongga sehingga ringan. Berkembang biak secara bertelur (ovipar) dan pembuahan di dalam tubuh. Telur aves bercangkang dan memiliki kuning telur yang besar. Bernafas dengan paru-paru dan memiliki pundi-pundi udara yang membantu pernafasan saat terbang. Beberapa contoh hewan dalam kelompok aves antara lain seluruh jenis burung, ayam dan ansa.



Gambar 11.1. Morfologi atau bagian tubuh dari aves
(Sumber: Pbase.com)

5. Mamalia

Mamalia memiliki ciri-ciri khas yakni mempunyai rambut dan kelenjar susu. Selain itu, mamalia juga merupakan hewan berdarah panas. Mamalia tersebar hampir di seluruh dunia dan menempati habitat yang berbeda-beda, mulai dari darat hingga laut. Menurut Program Biologi Internasional, mamalia diklasifikasikan berdasarkan jenis dan ukurannya. Berdasarkan jenisnya, mamalia dibedakan menjadi dua kategori, yaitu mamalia darat dan mamalia laut. Mamalia kecil adalah mamalia yang berat dewasanya kurang dari 5 kg, misalnya ordo Rodentia dan Chiroptera, sedangkan yang lainnya termasuk dalam kelompok mamalia besar.

Setiap jenis mamalia, baik darat maupun laut, mempunyai wilayah sebaran tertentu berdasarkan kondisi geografis dan ekologi. Sebaran mamalia juga dapat dibedakan berdasarkan lingkungan dan ketinggian. menyatakan bahwa mamalia dapat hidup di lingkungan yang keras tergantung pada ketinggian dan kondisi hujan atau bersalju. Beberapa contoh hewan yang termasuk dalam kelompok mamalia

antara lain: beruang, monyet, harimau, paus, dan lumba-lumba.

11.2.2 Hewan Avertebrata

1. Filum Protozoa

Berdasarkan alat gerak yang dimiliki, terdapat empat kelas pada Filum protozoa, antara lain:

a. Kelas Sarcodina (*Rhizopoda*)

Hewan yang termasuk kelas ini memiliki alat gerak berupa kaki palsu (pseudopodia), sedangkan gerakannya termasuk kepada gerak amoboid. Timbulnya kaki semu yang menjulur disebabkan oleh adanya aliran sitoplasma yang menekan bagian tertentu dari sel, hal ini menyebabkan Rhizopoda tidak memiliki bentuk tetap. Beberapa contoh rhizopoda : (a). Amoeba proteus, hidup bebas di air tawar, dengan memanfaatkan bahan organik disekitarnya. Sebagian besar jenis amoeba yang hidup di dalam tubuh manusia disebut entamoeba. Contoh : *Entamoeba histolitica*, *Entamoeba ginggivalis*, dan *Entamoeba coli*; (b) *Foraminifera*, hidaupnya di laut, mempunyai kerangka luar dari zat kapur yang berlubang tempat menjulurnya protoplasma. Contoh: *Globigerina bulloiders*, *Hestigerina pelagica*.

b. Kelas Flagellata

Flagel atau cambuk merupakan alat gerak pada hewan kelompok ini. Keberadaan alat gerak ini yang membuat kelompok hewan ini disebut Flagellata. Selain sebagai alat gerak, flagel juga digunakan untuk medapatkan makanan, karena getaran flagel menyebabkan terjadinya aliran air sekitar hewan tersebut yang membawa makanan dalam bentuk pertikel padat. Beberapa jenis Flagellata mempunyai klorofil, sehingga mampu melakukan fotosintesis seperti pada tumbuhan. Tidak sedikit pula diantaranya bersifat parasit baik pada manusia ataupun hewan. Beberapa contoh Flagellata : *Euglena*, *volvox*, *noctiluca miliaris*, *Leismania*

donovani, *Tripanosoma gambiense*, *Tripanosoma rodienze*, *Tripanosoma evansi*.

c. Kelas Ciliata

Ciri khas kelas Ciliata adalah adanya tonjolan protoplasma yang membentuk rambut atau silia yang bergetar dan berfungsi sebagai alat gerak. Ciliata memiliki bentuk yang tetap berkat selaput yang menutupi tubuhnya seperti penguat yang fleksibel. Hewan yang biasa hidup di air tawar dan laut mempunyai dua inti sel (nukleus), inti sel yang kecil disebut mesofil mempunyai fungsi reproduksi sedangkan inti sel yang besar disebut makronukleus mempunyai fungsi mengatur proses metabolisme, meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan serta seperti proses lainnya. di dalam tubuh. Makanan mereka meliputi partikel organik dan organisme hidup kecil lainnya seperti bakteri, alga, atau protozoa lainnya. Makanan didorong oleh silia ke dalam sitoplasma (mulut) kemudian melewati sel faring (esofagus) masuk ke dalam vakuola makanan untuk dicerna oleh enzim pencernaan, kemudian vakuola makanan tersebut akan bersirkulasi ke seluruh organ. bagian dari protoplasma dan protoplasma akan menyerap zat-zat tersebut. makanan. zat dalam vakuola. *Paramaecium caudatum* merupakan salah satu contoh kelompok hewan Ciliata. Sedangkan contoh lainnya adalah: *Didinium*, *Stentor* dan *Balantidium*.

d. Kelas Sporozoa

Disebut sporozoa karena siklus hidupnya meliputi tahapan sebagai spora, yaitu sel individu dengan sel penjaga untuk melawan lingkungan yang merugikan. Kelompok hewan bersel satu ini tidak mampu bergerak dan hidup secara parasit pada hewan dan manusia. Hewan ini tidak mempunyai alat aktif seperti mulut, makanan diserap oleh inangnya melalui seluruh permukaan tubuhnya. Contoh terpenting dari kelompok ini adalah Plasmodium yang menyebabkan malaria.

Plasmodium berkembang biak tanpa kawin di dalam tubuh manusia, sedangkan reproduksi seksual terjadi pada nyamuk betina dari genus *Anopheles*. Beberapa contoh Plasmodium; (1) *P. malaria*, menyebabkan malaria kuarterner; (2) *P. vivax* menyebabkan malaria derajat tiga; (3) *P. falciparum* menyebabkan malaria tropis. Contoh sporozoit lainnya adalah: *Gregarina*, *Coccidium*, *Gregarina*.

2. Filum Forifera

Porifera merupakan hewan multiseluler yang paling sederhana, karena tampak hanya kumpulan sel yang masing-masing menjalankan aktivitasnya masing-masing, namun hewan ini mempunyai beberapa jenis sel dengan fungsi yang berbeda-beda. Hewan tidak memiliki alat transportasi, sepanjang hidupnya mereka menempel di dasar air, terutama dasar laut, dan sedikit lagi yang hidup di air tawar. Permukaan tubuhnya berpori dan terhubung dengan rongga tubuh. Pada permukaan spongiokel terdapat sel leher berflagel (koanosit) yang menggerakkan air, sehingga memungkinkan air dari luar mengalir ke pori-pori spongiokel dan keluar dari pori-pori. Porifera memiliki kerangka tubuh mesenkim yang tersusun dari endapan batu kapur, spikula silikat, atau serat protein yang disebut spongin. Berdasarkan jenis kerangkanya, filum Porifera dibagi menjadi 3 kelas, yaitu: (1) Kelas *Calcarea* mempunyai kerangka seperti tulang belakang yang terbuat dari kapur (CaCO_3) dan sebagian besar kelas ini hidup di laut dalam. Misalnya : *Clatrina blanca*, agar-agar *Cycon*. (2) Contoh Kelas *Hexactinellida* : *Feronem*. (3) Kelas *Demospongia*, mis. *Euspongia*, *Spongia*. Filum *Coelenterata*.

3. Filum Coelenterata

Hewan uniseluler ini lebih sempurna dibandingkan porifera karena tubuhnya terdiri dari beberapa jenis sel yang masing-masing secara bersama-sama menjalankan fungsi jaringannya. *Coelenterata* mempunyai tentakel di sekitar

mulutnya, tentakel ini dilengkapi dengan sel cnidoblas yang berisi alat penyengat (nematoda) berbentuk gelembung berisi cairan beracun dan dapat melumpuhkan mangsa atau untuk pertahanan diri. Tubuhnya terdiri dari dinding tubuh dan rongga perut. Dinding tubuh mempunyai dua lapisan yaitu epidermis yang permukaan luarnya dilengkapi dengan sel-sel saraf. Lapisan dalam merupakan endoderm yang melapisi rongga lambung, oleh karena itu disebut gastroderm. Di antara kedua lapisan ini terdapat membran mesoglea, yang berfungsi sebagai tempat menempelnya epidermis dan endoderm. Makanan yang ditangkap oleh tentakel dimasukkan ke dalam mulut dan dipindahkan ke rongga lambung untuk dicerna oleh enzim yang dihasilkan oleh kelenjar lambung. Setelah diserap lambung, dikeluarkan kembali melalui mulut. Selama siklus hidupnya, beberapa koleoptil bergantian antara bentuk ubur-ubur (berenang bebas) dan polip (menempel pada benda di dasar laut). Coelenterata mencakup tiga kelas, yaitu hidrozoa, scyphozoa, dan anthozoa. (1) Kelas Hydrozoa, misal: Hydra, Physalia, Obelia (2) Kelas Scyphozoa, misal: Aurelia, Chiropsalmus (3) Kelas Anthozoa, misal: Anemon laut, koral laut (*Eucorallium rubrum*), akar bahar (*Euplexaura Antipathies*).

4. Filum Platyhelminyhes

Hewan ini merupakan cacing dengan tubuh pipih, lunak, dan tidak memiliki kerangka. Diklasifikasikan sebagai triploblastik, lapisan luar, khususnya ektoderm, pada beberapa jenis merupakan tempat pertukaran gas, dengan silia sebagai alat gerak. Di dalam dermis terdapat sistem ekskresi, sistem reproduksi, sel kelenjar dan lapisan otot. Lapisan paling dalam adalah endoderm, yang berisi saluran pencernaan atau rongga lambung. Sebagian besar cacing ini tidak mempunyai sistem peredaran darah dan bersifat parasit, ada pula yang hidup di air dan kelembapan. Platyhelminthes dibagi menjadi tiga kelas: Turbellaria, Trematoda dan Cestoda. (1) Contoh Kelas Turbellaria : Planaria (cacing yang

sangat regeneratif) (2) Contoh kelas Trematoda: Cacing hati (*Fasciola hepatica*), *Opisthorchis sinensis*. (3) Contoh kelas Cestoda: Cacing pita (*Taenia solium*, *Taenia saginata*).

5. Filum Nematelminthes

Merupakan spesies cacing dengan tubuh bulat memanjang, tidak beruas-ruas, permukaan tubuh ditutupi kutikula dan tidak memiliki silia. Termasuk hewan yang bersifat triploid dan mempunyai rongga tubuh semu (pseudocoelom) karena rongga ini tidak dikelilingi oleh lapisan mesoderm. Saluran pencernaan tidak bercabang, mulai dari mulut di depan, melewati kerongkongan dan usus hingga anus di belakang untuk membuang sisa makanan yang tidak tercerna. Pertukaran gas pernapasan terjadi ke seluruh tubuh, oksigen bersirkulasi melalui cairan tubuh, namun sebagian kerjanya dilakukan oleh hemoglobin melalui sistem peredaran darah sederhana. Sebagian besar dapat membedakan antara jantan dan betina. Jantan biasanya berukuran lebih kecil, dan pembuahan sel telur terjadi di dalam tubuh betina. Hidup secara parasit di tubuh hewan, manusia, dan tumbuhan. Cacing gelang yang hidup secara parasit pada tubuh manusia adalah cacing gelang *Ascaris lumbricoides*, *Ancylostoma duodenale*, *Osciuris vermicularis*.

6. Filum Anelida

Kelompok ini disebut cacing tanah dan lintah, yang merupakan contoh cacing Annelida yang mudah ditemukan. Bagian tubuh ditutupi oleh kutikula dan terlihat ruas-ruas pendek berbentuk cincin. Hewan ini termasuk jenis triploblastik, dengan rongga tubuh yang sebenarnya, karena rongga tubuh dibatasi oleh mesoderm (mesoderm somatik) di bagian luar berbatasan dengan ektoderm, sedangkan di bagian dalam berbatasan dengan endoderm. Di dalam rongga tubuh terdapat saluran pencernaan, pembuluh darah, dan saraf. Sistem peredaran darahnya tidak dilengkapi dengan jantung, darahnya mengandung hemocyanin yang beredar ke seluruh tubuhnya untuk

mengedarkan oksigen yang didapatnya ke seluruh permukaan tubuhnya. Sisa metabolisme dikeluarkan melalui ginjal, yaitu sepasang organ yang berfungsi seperti ginjal dan terletak di setiap rongga tubuh. Ia bergerak menggunakan dinding otot tubuh, sebagian dibantu oleh pergerakan bulu di sekitar permukaan tubuh (seta). Annelida yang mempunyai banyak rambut diklasifikasikan sebagai Polychaeta, sedangkan yang memiliki sedikit rambut diklasifikasikan sebagai Oligochaeta, dan yang tidak berambut diklasifikasikan sebagai Hirudinea. (1) Contoh Kelas Polychaeta : *Eunice* (cacing palolo), *Lycidice* (cacing wawo). (2) Contoh Kelas Oligochaeta: *Pheretima*, *Tubifex* (3) Kelas Hirudinae Contoh: *Haemadipsa javanica* (pacet), *Hirudo* (lintah).

7. Filum Arthropoda

Kelompok artropoda mempunyai jumlah spesies terbanyak dibandingkan hewan lainnya. Begitu pula dengan sebarannya yang paling padat, membentang dari laut hingga pegunungan dan dari garis khatulistiwa hingga kutub. Hewan-hewan tersebut mempunyai pengaruh dan peranan terhadap manusia, antara lain sebagai makanan, penyerbukan, perusak tanaman, pertanian, serta pembawa patogen dan parasit dalam tubuh manusia. Nama arthropoda diberikan karena kakinya bersendi (arthros = sendi, buku; podos = kaki). Hewan ini memiliki tubuh yang bersegmen dan ditutupi oleh kerangka luar yang terbuat dari kitin, senyawa karbohidrat yang tidak larut dalam air. Kerangka luar yang keras dan kaku ini dapat menghambat pertumbuhan karena kerangka tersebut secara berkala terlepas dan digantikan oleh kerangka baru, sebuah fenomena yang dikenal sebagai alopecia. Sistem pencernaan dilengkapi dengan kelenjar pencernaan. Sistem saraf terdiri dari ganglion serebral di kepala dan sepasang saraf yang terletak di bawah saluran cerna serta memiliki reseptor rangsangan berupa mata dan antena. Saluran peredaran darah meluas ke bagian belakang tubuh dan bercabang ke

jantung. Kelompok hewan ini adalah Serangga; Misalnya:kutu daun (*Cimex lectoralis*), lebah madu (*Apis indica*), krustasea; Misalnya:kepiting (*Scylla serrata*), kutu laut (*Argulus indicus*). Arakhnida, misalnya kalajengking (*Heterometrus cyaneus*), laba-laba (*Mygale javanica*) dan *Myriapoda*, misalnya kaki seribu, lipan.

8. Filum Echinodermata

Pada filum ini hampir semua hewan hidup di laut, bentuk tubuhnya simetris sempurna dan mempunyai banyak bidang yang membagi tubuhnya menjadi dua bagian sama besar sepanjang sumbu tubuhnya. Permukaan tubuh echinodermata ditutupi kulit, di dalamnya terdapat kerangka berupa piringan batu kapur yang berduri. Bergerak dengan kaki berbentuk tabung (ambulans) yang terhubung dengan sistem tabung rawat jalan. Termasuk hewan triploblastik, sebenarnya terdapat rongga tubuh yang menempel pada papula, yaitu tonjolan pada permukaan tubuh yang ditutupi selaput tipis yang memisahkan cairan tubuh dengan air laut, sehingga terjadi pertukaran gas dan pembuangan sisa metabolisme. Secara umum hewan ini merupakan hewan pemakan bangkai sehingga berperan sebagai pembersih sampah laut yang ada di pantai. Sistem pencernaannya lengkap dan memiliki indra yang peka terhadap cahaya, bahan kimia, dan sentuhan. Pembuangan terjadi secara eksternal. Echinodermata terdiri dari 5 lapisan, yaitu asteroid (mis.bintang laut), Crinoidea (contoh bunga lili laut), Ophiuroidea (contoh bintang laut), Echinoidea (contoh bulu babi) dan Holoturoidea (contoh teripang).

11.3 Hewan dan Habitatnya

Terdapat berbagai jenis hewan yang bisa kita temui, mulai dari hewan berukuran besar hingga kecil sampai dengan hewan yang hidup di air ataupun darat. Semua jenis hewan yang bisa kita temui pastinya memiliki karakter dan sifat bertahan hidup yang berbeda-beda. Dari semua jenis hewan yang ada, ada yang hidup di

permukaan tanah (terrestrial), di dalam tanah (fossorial), pohon (arboreal), udara (aerial) dan air (aquatic). Bagi kita yang belum terlalu mengenal dunia hewan pastinya masih terdengar asing dengan istilah-istilah tersebut, berikut penjelasannya;

1. Terrestrial

Terrestrial merupakan istilah yang digunakan untuk jenis hewan yang sebagian besar aktifitas hidupnya dihabiskan di daratan. Tubuh hewan darat beradaptasi untuk merangkak, berjalan, berlari, memanjat, atau melompat, bergantung pada ekosistem tempat mereka tinggal. di daratan. Ukuran tubuh hewan terrestrial ada yang berukuran sangat besar dan ada juga yang berukuran sangat kecil sehingga sedikit sulit diidentifikasi langsung oleh penglihatan manusia.

Meskipun mereka melakukan fungsi paling penting di Bumi, sebagian besar spesies memerlukan air dan udara untuk bertahan hidup. Misalnya: Spesies terrestrial bernapas melalui paru-paru, mendapatkan oksigen yang diperlukan untuk kehidupan dari udara. Sumber makanan alami hewan darat berasal dari tumbuhan, akar-akaran, buah-buahan, daun-daunan, dan daging hewan lain atau organisme hidup lainnya. Mereka memiliki perkembangan sensorik yang luar biasa untuk dapat berinteraksi dan hidup dengan lingkungan dan spesies lainnya. Penglihatan, penciuman dan pendengaran merupakan tiga pedoman utama aktivitas hewan darat. Contoh hewan terrestrial antara lain: Jerapah, Sapi, Anjing, Kucing, Kuda, Rusa, Gajah dan Kangguru.



Gambar 11.2. Jerapah dan Zebra merupakan hewan yang habitat teresterial, jerapah dan zebra beraktifitas di permukaan tanah mulai dari makan, istirahat, bereproduksi dan beberapa aktifitas hewan lain. (Sumber: Pbase.com)

2. Fossorial

Hewan fossorial merupakan jenis hewan yang sebagian besar hidupnya dihabiskan di bawah tanah. Hewan fossorial menggali tanah sampai kedalaman tertentu untuk membuat sarang. hewan fossorial beraktifitas di dalam tanah tidak hanya dalam hal membangun sarang dan beristirahat selain itu juga untuk membantu mengatur suhu, sementara ada beberapa menggunakan habitat di dalam tanah sebagai perlindungan dari predator. Contoh beberapa hewan fossorial antara lain: Cacing tanah, Tikus tanah, Tikus mondok, dan Rayap.



Gambar 11.3. Ilustrasi habitat semut yang ada di dalam tanah dari kelompok famili *Formicidae* (Sumber: Pbase.com)

3. Arboreal

Arboreal merupakan istilah untuk jenis hewan yang sebagian besar hidupnya dihabiskan di pohon. Mereka melakukan berbagai aktivitas di pohon seperti makan, tidur, bermain dan aktivitas lainnya hanya di dahan-dahan pohon. Dikarenakan kehidupannya dihabiskan di pohon maka keberadaan pohon-pohon di hutan sangat berpengaruh pada kelangsungan hidup mereka. Keberadaan hewan-hewan tersebut tergantung pada tajuk pohon yang saling berhubungan. Pohon yang berhubungan akan menjadi aktivitas dari hewan-hewan tersebut dimana akan mencari tempat dari satu pohon ke pohon lainnya. Ataupun mencari makan dari satu pohon ke pohon lainnya.

Hewan arboreal beberapa diantaranya memiliki ciri kaki bercakar (tupai), memiliki tungkai panjang dan ekor (monyet). Cakar digunakan tupai untuk mengait pada batang pohon/dahan saat berpindah. Tungkai yang panjang juga dimanfaatkan monyet untuk berayun dan bergelantungan dari satu pohon ke pohon yang lain. Beberapa hewan-hewan yang

bersifat arboreal antara lain: Orangutan, Monyet, Koala, Kata Pohon, Lemur, Musang, Burung Hantu, Burung Pelatuk. Beberapa jenis hewan arboreal sesekali akan beraktifitas di bawah pohon jika habitat mereka tidak mendukung, misalnya: monyet akan turun ke areal teresterial jika pakan pada pohon-pohon yang tersedia pada habitat mereka sudah tidak tersedia. Monyet akan mencari pakan alternatif lain. Orangutan juga menurut laporan pernah beraktifitas di permukaan tanah ketika pohon-pohon pada habitat mereka sudah rusak akibat penebangan liar, tajuk-tajuk tidak terkoneksi dengan baik sehingga tidak memungkinkan bagi orangutan untuk berpindah mencari makan dari satu pohon ke pohon yang lain.



Gambar 11.4. Tupai (*Tupaia minor*), merupakan salah satu jenis hewan yang bersifat arboreal (Sumber: Pbase.com)

4. Aerial

Aerial secara sederhana didefinisikan sebagai udara. Hewan aerial merupakan kelompok hewan yang sebagian besar aktifitas hariannya di udara. Walaupun hewan kelompok ini menghabiskan sebagian besar aktifitasnya di udara, namun khusus untuk beberapa aktifitas tertentu hewan aerial lebih memilih di habitat teresterial ataupun arboreal. Sebagai contoh adalah burung elang, burung elang akan turun ke

daratan baik di permukaan tanah maupun di atas pohon untuk melakukan aktifitas istirahat maupun bersarang, selain itu burung elang akan beraktifitas di udara untuk menjelajah, berburu makanan dan terus berpindah tempat. Hewan aerial terutama dicirikan oleh kemampuannya terbang menggunakan sayapnya berkat momentum di udara. Sayap ini ditutupi bulu dan terbuat dari sutra untuk serangga. Ada juga hewan yang mempunyai sayap namun tidak bisa terbang. Selain sayap, tubuh hewan udara memiliki modifikasi lain yang memungkinkannya terbang dan bergerak di udara. Misalnya, burung memiliki kerangka yang ringan, bulu (yang menambah luas permukaan sayap), otot dada yang kuat, dan sistem kardiovaskular yang memberi mereka metabolisme yang tinggi (yang sejalan dengan konsumsi energi yang tinggi selama berolahraga). proses penerbangan). Contoh lain dari hewan aerial adalah kelelawar, lebah, burung kolibri, kupu-kupu dan capung.

5. Akuatik

Ekologi pada habitat akuatik tidak dipengaruhi oleh suhu lingkungan dan curah hujan. Beberapa faktor yang mempengaruhinya antara lain kedalaman air yang menentukan seberapa banyak sinar matahari dapat menembus badan air. Semakin dalam perairan maka semakin sedikit cahaya yang mampu menembus dasar perairan. Organisme fotosintesis membutuhkan sinar matahari untuk mengolah makanan. Perairan yang berarus kuat juga akan memberikan pengaruh yang berbeda dengan perairan yang berarus sedang dan tenang. Habitat perairan memiliki dua jenis ekosistem: ekosistem laut dan ekosistem air tawar. Beda tipe 2 habitat ini adalah kandungan salinitas dan kandungan oksigen terlarut yang ada pada air. Salinitas adalah tingkat keasinan atau kadar garam terlarut dalam air. Salinitas bagi makhluk hidup air merupakan salah satu faktor penting bagi penyebaran organisme di perairan laut (Patty, 2013). Tingkat salinitas tiap perairan berbeda-beda. Penggolongan tingkat keasinan

untuk parameter salinitas terbagi menjadi air tawar dengan nilai $<0,5\%$, air payau sekitar $0,5-30\%$, air asin $30-50\%$ dan air sangat asin atau air laut sekitar $>40\%$ (Hasrianti & Nurasia, 2016). Contoh beberapa hewan yang habitatnya di akuatik antara lain; ikan, penyu, kura-kura, ikan paus.

11.4 Bentuk Adaptasi Hewan

Upaya dalam mempertahankan kelangsungan hidup sangat dibutuhkan oleh suatu Organisme. Organisme memiliki dua cara untuk mempertahankan kelangsungan hidup: reproduksi dan adaptasi. Jika proses reproduksi suatu organisme lambat atau tidak dapat beradaptasi dengan lingkungannya, maka spesies tersebut akan terancam punah. Saat ini, kepunahan organisme tidak hanya disebabkan oleh predator, namun perilaku dan aktivitas manusia juga mempercepat kepunahan beberapa spesies.

Adaptasi adalah proses penyesuaian organisme terhadap perubahan yang terjadi di lingkungannya. Setiap organisme mempunyai kemampuan kompleks untuk beradaptasi dengan lingkungannya. Adaptasi suatu organisme dapat dikendalikan oleh faktor genetik yang meningkatkan kemampuan organisme tersebut untuk beradaptasi, disebut juga adaptasi. Dalam proses evolusi, hanya organisme yang mampu beradaptasi yang akan bertahan, organisme yang tidak dapat beradaptasi akan musnah. Ada tiga jenis adaptasi pada organisme: Adaptasi bentuk, adaptasi fisiologis, dan adaptasi perilaku. Bentuk adaptasi bisa sederhana namun ada juga bentuk yang sangat kompleks, dapat terjadi pada tingkat sel, jaringan atau sistem organ. Bentuk adaptasi khusus pada hewan dijelaskan di bawah ini.

1. Adaptasi Morfologi (Bentuk)

Penyesuaian bentuk tubuh dan struktur luar organisme hidup atau organ tubuh organisme terhadap lingkungannya merupakan definisi dari adaptasi morfologi. Adaptasi ini dilakukan untuk menyesuaikan bentuk tubuhnya dengan kondisi kehidupan guna menunjang kehidupan. Contoh adaptasi morfologi pada hewan antara lain: Bentuk kaki

atau cakar burung dibedakan menjadi perenang, pemanjat, hinggap, pejalan kaki, dan predator; Bentuk paruh burung dibedakan menjadi burung pemakan biji, karnivora, pemakan ikan, dan pemakan nektar; Dan bentuk mulut serangga dibedakan menjadi 5 macam mulut yaitu mulut menggigit, mulut menusuk, mulut menghisap, mulut menjilat dan mulut menyerap.

2. Adaptasi Fisiologi

Adaptasi fisiologis adalah penyesuaian fungsional organ dalam suatu organisme terhadap lingkungannya. Adaptasi ini melibatkan fungsi organ organisme hidup dan melibatkan zat tertentu untuk memperlancar metabolisme. Contoh adaptasi fisiologis pada hewan antara lain: Unta mempunyai punuk untuk menyimpan lemak. Bentuk kaki yang lebar membantu berjalan tanpa terjatuh di pasir; Mamalia yang dapat mengunyah makanan antara lain sapi, kambing, dan kerbau. Makanan hewan ini adalah rumput, pada saluran pencernaannya terdapat enzim selulase, musang mempunyai kelenjar bau dan mengeluarkan cairan untuk melindungi diri dari musuh.

3. Adaptasi Tingkah Laku

Adaptasi tingkah laku adalah proses dimana organisme atau spesies mengubah perilaku mereka menyesuaikan dengan lingkungan dan kondisi hidup mereka. Adaptasi tingkah laku bisa berupa hasil belajar atau insting sejak lahir. Adaptasi tingkah laku bertujuan untuk memastikan kelangsungan hidup, keberhasilan reproduksi dan penyesuaian terhadap perubahan lingkungan. Contoh adaptasi tingkah laku antara lain: Bunglon yang mampu mengubah warna kulitnya menyerupai tempat yang dihindangi (*mimikri*); Cecak memutuskan ekornya untuk mengelabui musuhnya (*autotomi*); Semut selalu mendekatkan kepalanya ke kepala semut lainnya apabila berpapasan. Hal ini dilakukan oleh semut untuk mengenali atau berkomunikasi; Trenggiling akan menggulungkan tubuhnya jika terancam; Landak akan mengembangkan duri pada tubuhnya jika diserang predator.

11.5 Perlindungan Hewan Langka Indonesia

Salah satu keanekaragamanhayati yang tinggi di Indonesia adalah kenakeragaman jenis hewan. Indonesia memiliki 115 jenis mamalia, 1.500 jenis burung, 600 jenis reptilia, dan 270 jenis amfibi (LIPI, 2021). Indonesia juga memiliki keanekaragaman ikan (Lasabuda, 2013). Di antara hewan darat (terrestrial) dan akuatik, beberapa spesies bersifat endemik (IUCN, 2020; dan KLHK, 2014), hanya terdapat di Indonesia. terdata 97 jenis ikan karang dan 1.400 jenis ikan air tawar yang hanya ada di Indonesia (LIPI, 2021). Diantara jumlah seluruh kelompok hewan tersebut beberapa diantaranya termasuk dalam kategori langka atau sulit ditemui langsung di alam liar. Kelangkaan hewan tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya hilangnya rusaknya kawasan hutan yang menjadi habitat hewan oleh penebangan liar dan alih fungsi lahan hutan. Perburuan terhadap hewan liar yang masih tinggi juga menjadi sebab status beberapa hewan di Indonesia menjadi langka. Dalam menjaga keberadaannya di alam agar tidak punah pemerintah mengatur sebuah regulasi dalam undang-undang No. 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya. Ditambah juga dengan sebuah peraturan menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.20 Tahun 2018 tentang jenis tumbuhan dan satwa liar yang dilindungi. Terdapat 794 daftar jenis hewan yang masuk dalam daftar yang dilindungi dalam permen KLHK No. 20 tahun 2018 mulai dari kelompok hewan vertebrata sampai dengan kelompok hewan avertebrata. Beberapa hewan yang masuk dalam daftar tersebut juga masuk dalam kategori spesies kunci. Spesies kunci adalah spesies atau jenis yang berdampak besar terhadap lingkungan dan keseimbangan ekosistem. Spesies kunci adalah spesies dominan, predator atau penyebar biji yang mempengaruhi jumlah dan karakteristik spesies lain. Spesies kunci juga menyediakan sumber daya atau habitat bagi spesies lain. Jika spesies kunci punah, ekosistem yang ditopangnya akan runtuh. Beberapa contoh spesies kunci adalah alligator, berang-berang, lebah, orangutan dan burung enggang gading.

DAFTAR PUSTAKA

- Alikodra, H. S. 2002. Pengelolaan Satwa liar. Yayasan Penerbit Fakultas Kehutanan IPB. Bogor.
- Conde DA, Flesness N, Colchero, F., Jones, OR. and Scheuerlein, A. 2011. An emerging role of zoos to conserve biodiversity. *Science* 331, 1390–1391.
- Dahuri, R. 2003. Keanekaragaman Hayati Laut. Aset Pembangunan Berkelanjutan Indonesia. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Fitriani, AR., Sunarya, E., Surianto., Wulan, Y. 2017. Ensiklopedia biologi dunia hewan. Jakarta: Lentera Abadi.
- Huffard CL, Erdmann MV, Gunawan TRP. (Eds). 2012. Geographic Priorities for Marine Biodiversity Conservation in Indonesia. Ministry of Marine Affairs and Fisheries and Marine Protected Areas Governance Program. Jakarta Indonesia.
- IUCN. 2020. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-2.
- Kemen LHK dan LIPI. 2019. Panduan Identifikasi Jenis Satwa Liar Dilindungi: Hewan. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Patty SI. 2013. Distribusi suhu, salinitas dan oksigen terlarut di perairan Kema, Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Planax* Vol. 1 : 1-5
- Pbase.com. 2023. Wildlife image ([Pbase.com/cokesmith/image/121237940/large](https://www.pbase.com/cokesmith/image/121237940/large)) diakses periode tanggal 15-20 September 2023.
- Hasrianti, & Nurasia. 2016. Analisis Warna, Suhu, pH Dan Salinitas Air Sumur Bor Di Kota Palopo. Analisis Warna, Suhu, Ph Dan Salinitas Air Sumur Bor Di Kota Palopo.
- Lasabuda R. 2013. Tinjauan Teoritis Pembangunan Wilayah Pesisir dan Lautan dalam Perspektif Negara Kepulauan Republik Indonesia. *Jurnal Ilmiah Platax* Vol. 1-2, Januari 2013. Halaman 92-101.

BAB 12

PERAN BIOLOGI DALAM KESEHATAN MANUSIA

Oleh Vivin Kusumaningrum

12.1 Pengertian Ilmu Biologi dalam Kesehatan.

Semua cabang ilmu pengetahuan memiliki manfaat bagi manusia. Dalam hal ini ilmu biologi Biologi sebagai ilmu hayat merupakan ilmu yang mempelajari tentang organisme hidup dan kehidupannya. Ilmu biologi memiliki cakupan yang sangat luas dengan membaginya menjadi beberapa cabang seperti anatomi, fisiologi, evolusi, histologi, sitologi, taksonomi, botani dan lain sebagainya. Misalnya salah satu anak cabang Biologi seperti anatomi dan fisiologi sistem pencernaan manusia membahas tentang struktur dan fungsi organ yang menyusun sistem pencernaan serta mekanisme kerja didalamnya berikut penyakit yang dapat menyerang sistem pencernaan. Keterkaitan kajian biologi dengan kehidupan manusia menjelaskan begitu besarnya manfaat yang bisa diperoleh setelah mempelajari hal tersebut. Misalnya bidang pertanian, perikanan, peternakan, kedokteran, farmasi, maupun kesehatan. Pembahasan dalam bab ini terkait peran biologi bagi kesehatan manusia.

12.2 Peran Biologi dalam Dunia Kesehatan

Pentingnya Biologi dalam dunia kesehatan memberikan manfaat yang cukup besar bagi manusia. Adapun beberapa manfaat bagi manusia yaitu

1. Untuk mengidentifikasi organ penyusun tubuh pada manusia,
Ilmu biologi dengan kajian mempelajari tentang makhluk hidup terutama manusia sebagai objek kajian. Terutama kajian tentang manusia yang dilakukan sedemikian kompleks dari ujung kaki hingga ujung rambut. Ilmu yang

mempelajari tentang organ tubuh dapat dipelajari dalam ilmu organologi sebagai anak cabang biologi. Mulai dari struktur dan fungsi organ manusia mulai dari kepala, badan anggota gerak bagian atas dan bawah.

2. Untuk mengidentifikasi cara kerja tubuh

Sistem kerja tubuh meliputi sistem pencernaan (*digesti*), sistem peredaran darah (*transportasi*), sistem pernafasan (*respirasi*), sistem koordinasi, dan sistem hormon. Masing-masing memiliki organ penyusun dan bekerjasama untuk menjalankan fungsinya dalam sistem. Mekanisme kerja organ pada setiap sistem organ dapat berjalan dengan baik bila seluruh organ penyusun memiliki struktur dan fungsi yang bekerja dengan benar. Misalnya sistem pernapasan mengatur proses pertukaran oksigen dan karbondioksida dalam alveolus.

3. Untuk mengidentifikasi cara mengatasi penyakit yang menyerang pada tubuh manusia.

anak cabang biologi yang mempelajari tentang jenis-jenis penyakit yang menyerang tubuh manusia disebut juga epidemiologi. Dalam hal ini, dengan mempelajari ilmu epidemiologi tersebut dapat mengidentifikasi penyakit yang dialami manusia dan cara penanggulangan penyakit tersebut.

4. Untuk mengetahui cara meningkatkan imun tubuh

manusia dapat melakukan aktivitas dengan stamina yang optimal apabila memiliki tubuh yang sehat. Namun, jika daya tahan tubuh mengalami penurunan atau terserang penyakit maka akan sulit bagi manusia untuk menjalankan tugas dan aktivitasnya bahkan akan terganggu. Penyakit akan mudah menyerang tubuh manusia jika daya tahan tubuh melemah. Hal tersebut membantu manusia untuk mengantisipasi agar tidak mudah terserang penyakit.

dengan adanya ilmu biologi, untuk meningkatkan imun tubuh manusia memerlukan adanya antibodi-antibodi. Antibodi akan terbentuk dengan rutin mengkonsumsi vitamin untuk meningkatkan daya tahan tubuh. Selain itu, ilmu biologi mempelajari supaya dapat menjaga stamina tubuh.

5. Untuk mengetahui nutrisi yang sesuai bagi kebutuhan tubuh selain sistem imun, manusia juga membutuhkan nutrisi yang baik untuk dapat diserap dalam tubuh manusia. Nutrisi dapat diperoleh melalui makanan yang bergizi dan suplemen makanan. Tubuh yang mengonsumsi makanan bergizi seimbang, kebutuhan nutrisi akan terpenuhi. Makanan empat sehat lima sempurna meliputi karbohidrat, lauk pauk, sayuran, buah-buahan, serta susu. Keseimbangan tubuh dapat terjaga apabila mengonsumsi makanan yang seimbang tanpa harus mahal. Beragamnya mengonsumsi makanan bergizi membantu sistem tubuh melakukan fungsinya dengan maksimal. Hal yang dapat dilakukan untuk mengantisipasi adanya penyakit corona bisa dilakukan dengan mengonsumsi rempah-rempah.
6. Untuk mengidentifikasi vaksin dan antibiotik yang untuk menjaga kesehatan tubuh manusia.
Upaya yang dilakukan untuk membantu meningkatkan kekebalan tubuh bisa dilakukan dengan mengonsumsi vaksin. Tubuh menyiapkan antibodi ketika melawan penyakit, vaksin adalah bahan yang diperlukan tubuh untuk melawan penyakit. Terdiri dari berbagai jenis vaksin. Kandungan vaksin seperti bakteri, virus, ataupun racun yang membentuk antibodi ketika dimasukkan ke dalam tubuh manusia.
Selain vaksin, adanya antibiotik juga diperlukan bagi kesehatan manusia. Antibiotik adalah zat yang dihasilkan oleh mikroorganisme dengan kadar rendah, mempunyai kemampuan untuk menghambat penyebaran virus ataupun bakteri. Antibiotik dapat diberikan ketika ada bakteri jahat yang berbahaya masuk ke dalam tubuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Fried H, George dan Hademenos J, George. 1999. Schaum's Outline of Teori and Problems of Biology Second Edition. By The McGraw-Hill Companies. Translate Tyas, D dan Safitri, A. 2006 by Erlangga. Jakarta : Erlangga.
- Sherwood, Lauralee. 2007. Human Physiology: from Cells to System 6th Ed. Di translate. 2011. Fisiologi manusia: dari sel ke sistem, Alih bahasa: Brahm. U. Pendit: Editor edisi bahasa Indonesia, Nella Yesdelita. Ed.6. Jakarta : EGC.

BAB 13

ETIKA DALAM PENELITIAN BIOLOGI

Oleh Oktavius Yoseph Tuta Mago

13.1 Pendahuluan

Etika berkaitan dengan nilai moral yang dimiliki seorang manusia. Sebagai kompas moral, etika menuntun perilaku manusia sebagai makhluk individu dan makhluk sosial. Etika membantu manusia dalam membedakan antara yang benar dan yang salah; yang baik dan yang buruk; yang adil dan tidak adil; serta tindakan bermoral dan amoral (Post, 2004; Rachels and Rachels, 2014).

Dalam dunia profesional, etika memainkan peran penting dalam membentuk perilaku / karakter individu di suatu komunitas. Perilaku beretika wajib dimiliki oleh setiap profesi karena berhubungan langsung dan memiliki pengaruh terhadap kehidupan orang lain. Kode etik dalam suatu profesi memberi *guidelines* bagi praktisi agar menjaga integritas dan menghindari konflik kepentingan (Fisher, 2016; Mandal, K.P and Parija, 2017).

Salah satu profesi yang menekankan pentingnya etika adalah ilmuwan atau peneliti. Ilmuwan merupakan orang yang mempunyai kemampuan/kepakaran dalam suatu bidang. Kepakarannya diakui melalui kegiatan penelitian ilmiah yang dilakukannya untuk mencari kebenaran ilmiah. Dalam penelitiannya, seorang ilmuwan diikat oleh tanggung jawab dan kode etik yang harus dijunjung tinggi. Ilmuwan wajib memegang teguh nilai-nilai kejujuran, nurani, integritas dan keadilan.

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (2007) telah menetapkan 6 kode etika yang mengatur insan peneliti dalam penelitian dan berperilaku. Kode etika penelitian tersebut antara lain: (1) Peneliti membaktikan diri dalam mencari kebenaran ilmiah demi memajukan ilmu pengetahuan, teknologi dan berinovasi untuk pengembangan peradaban dan kesejahteraan manusia. (2) Peneliti hanya melakukan penelitian sesuai dengan cakupan dan batasan yang diatur oleh hukum, mendahulukan kepentingan dan

keselamatan pihak-pihak yang terlibat dalam penelitiannya, serta berlandaskan pada tujuan penegakkan hak asasi manusia. (3) Peneliti mengelola dan memanfaatkan sumber daya keilmuan secara bertanggung jawab dan selalu bersyukur atas ketersediaannya. (4) Peneliti menjalankan proses penelitian secara jujur, bernurani dan adil terhadap lingkungan penelitiannya. (5) Peneliti menghormati subjek / objek penelitian manusia dan sumber daya alam lainnya baik hayati maupun non-hayati secara bermoral sesuai dengan hukum alam dan karakter objek penelitian tanpa diskriminasi dan merendahkan martabat sebagai sesama ciptaan Tuhan. (6) Peneliti harus terbuka terhadap kritik, tanggapan dan saran terhadap proses atau hasil penelitiannya, baik dari sesama peneliti maupun dari masyarakat, serta saling menghormati melalui diskusi atau *sharing* pengalaman dan informasi ilmiah.

Penelitian di bidang biologi telah memberikan banyak sumbangsih dalam mempelajari tentang fenomena dan mekanisme kehidupan, serta memiliki potensi yang besar sebagai persiapan untuk menghadapi isu-isu kritis seperti penyakit, ketahanan pangan dan konservasi lingkungan. Namun, penelitian biologi juga tidak lepas dari permasalahan etika. Salah satu topik penelitian biologi yang mendapat paling banyak sorotan tentang etika dalam beberapa tahun terakhir adalah penemuan teknologi *gene editing* CRISPR/Cas9. Meskipun teknologi ini diklaim mampu ‘mempermudah’ penyembuhan penyakit genetik (Wang *et al.*, 2017; Thurtle-Schmidt and Lo, 2018) dan meningkatkan hasil pertanian (Ma *et al.*, 2016; Samanta, Dey and Gayen, 2016), banyak pihak yang mempertanyakan konsekuensi yang timbul akibat penggunaan yang tidak bertanggung jawab, kemungkinan perubahan pada *germline* manusia yang tidak dapat diprediksi, dan akan berpengaruh pada generasi masa depan. Isu etika yang ditekankan dalam penggunaan teknologi ini adalah manusia sedang memainkan peran seperti Tuhan (*playing God*) (Talbot, 2012). Oleh karena itu, pertimbangan matang antara keuntungan dan risiko serta pemberlakuan pengawasan yang ketat perlu dilakukan untuk memastikan penelitian ini dilakukan secara bertanggung jawab dan transparan.

Isu lain yang diangkat dalam penelitian di bidang biologi adalah penggunaan hewan dalam percobaan. Banyak pihak yang

menuntut agar peneliti meminimalisir penggunaan hewan uji karena dapat menyakiti bahkan menyiksa hewan tersebut. Dalam penggunaan hewan uji, diperlukan pertimbangan yang matang antara kepentingan perkembangan sains dan kesehatan serta keselamatan hewan uji. Penggunaan teknik *in-vitro* (*test-tube experiment*) atau *in-silico* (*computer modeling*) dapat menjadi metode alternatif sebagai pengganti penggunaan hewan uji (Ferdowsian and Beck, 2011; Kabene and Baadel, 2019). Para peneliti di bidang biologi terlebih dahulu harus bergumul dengan dilema ini untuk menjamin pekerjaan mereka benar-benar patuh pada standar etika dan menghormati nilai-nilai intrinsik yang ada pada setiap bentuk kehidupan (Arnold, Beauchamp and Bowie, 2019; Arnason, 2020).

Adanya isu-isu yang timbul akibat dari praktik-praktik / percobaan / penelitian dalam disiplin ilmu biologi dan kaitannya memunculkan suatu studi yang fokus untuk mengkaji isu tersebut secara lebih mendalam, yaitu Bioetika. Disiplin ilmu biologis yang bersinggungan dengan bioetika di antaranya adalah kedokteran, keperawatan, farmakologi, kesehatan masyarakat dan lingkungan. Sesuai dengan judulnya, bab ini akan membahas tentang etika dalam penelitian biologi dan ilmu yang terkait, atau yang lebih dikenal dengan bioetika.

13.2 Bioetika

Secara etimologi, bioetika (*bioethics*) berasal dari Yunani *bios* yang berarti kehidupan dan *ethike* yang berarti etika. Istilah bioetika pertama kali digunakan oleh Fritz Jahr, seorang teolog Jerman pada tahun 1927, namun baru mendapat perhatian yang lebih serius setelah Van Rensselaer Potter, seorang *biologist* dan peneliti *oncology* Amerika memformulasikan bioetika sebagai “etika global” dalam bukunya yang berjudul “*Bioethics, A Bridge to the Future*” di tahun 1971 (Gillon, 1998; Mandal, K.P and Parija, 2017). Bioetik yang merupakan suatu disiplin ilmu mulai berkembang di pertengahan abad ke-20, sebagai respons atas isu-isu etika yang muncul akibat dari perkembangan ilmu kedokteran, sains dan teknologi.

Asal mula bioetika muncul sebagai etika global berawal dari perumusan *Nuremberg code*, sebuah dokumen yang disusun sebagai akibat dari percobaan 'ilegal' terhadap manusia (para tahanan perang dunia II) yang dilakukan oleh para dokter Nazi di tahun 1945-1947. Untuk menuntut dokter-dokter yang terlibat dalam percobaan yang tidak berperikemanusiaan itu, badan yudikatif Amerika membuat dokumen yang berisi sepuluh prinsip yang menuntun dan mengarahkan penelitian sains dan atau kedokteran. Kasus penelitian tidak beretika yang hampir sama dengan penelitian dokter-dokter Nazi di Eropa adalah penelitian tentang penyakit sipilis di Tuskegee, USA. Subjek dalam penelitian ini adalah orang-orang Afrika-Amerika di Alabama yang 'digunakan' untuk meneliti penyebab sipilis selama 40 tahun (1932-1972). Subjek penelitian tidak pernah diberitahu bahwa mereka menderita penyakit sipilis, tidak diberikan pengobatan bahkan setelah penisilin ditemukan, dan dicegah agar tidak direkrut dalam wajib militer untuk perang dunia II agar mereka tetap menjadi 'objek' penelitian (Nunes, 2014; Mandal, K.P and Parija, 2017).

Tahun 1970-an merupakan periode penting bagi peletakan dasar perkembangan bioetika. Hal ini dimulai dengan didirikannya *Hasting Center* di tahun 1969 dan *Kennedy Institute of Ethics* dua tahun setelahnya. Beberapa komisi *bioethics* dibentuk pada tahun 1974. *Belmont Report* terbit untuk mengukuhkan prinsip dan menyebarkan *guidelines* bagi percobaan menggunakan subjek manusia di tahun 1978. *Report* ini menggarisbawahi tiga prinsip dasar bioetika yaitu: (**Respect**) hormat kepada manusia (dan sesama makhluk hidup), (**Beneficence**) kebermanfaatan bagi pihak lain, dan (**Justice**) keadilan. Masih di tahun yang sama, *The Encyclopedia of Bioethics* juga diterbitkan dan diikuti oleh buku *Principles of Biomedical Ethics* yang diterbitkan oleh *Beauchamp and Childress* di tahun berikutnya (Stevens, 2014; Mandal, K.P and Parija, 2017).

Sejak saat itu, bioetika terus berkembang, mencakup topik-topik yang lebih luas termasuk keputusan untuk mengakhiri hidup dengan bantuan (*euthanasia*), transplantasi organ, rekayasa genetika dan etika kesehatan global. Bioetika menjadi ilmu interdisiplin yang melibatkan filsafat, hukum dan sains sosial,

sehingga bioetika lebih komprehensif dari etika medis karena mencakup semua aspek dan bentuk kehidupan (Kusmaryanto, 2016).

Bioetika hadir sebagai sebuah disiplin ilmu baru yang menghubungkan pengetahuan biologi dengan nilai-nilai kemanusiaan. Potter dalam bukunya, menuliskan bahwa ilmu pengetahuan tentang kehidupan manusia harus berdiri di atas ilmu biologi sebagai dasarnya, yang selanjutnya diperluas dan dihubungkan dengan ilmu sosial dan kemanusiaan. Pengintegrasian ilmu sosial dan humaniora dalam penelitian tentang biologis manusia menjadi suatu keniscayaan karena ilmu sosial menyediakan data kuantitatif dan analisis terhadap fenomena tren sosial, sedangkan humaniora memberikan pemahaman interpretatif dan kontekstual tentang pengalaman manusia. Dengan demikian, hasil penelitian dapat memberi perspektif yang lebih holistik. Potter menghubungkan ilmu-ilmu yang terpisah dan seakan tidak memiliki hubungan dengan 'jembatan' Bioetika agar dapat berkomunikasi antara satu dengan yang lainnya. Sains (biologi), kemanusiaan (humaniora, ilmu sosial, filsafat) dan teologi dihubungkan oleh bioetika yang bersifat interdisipliner, sehingga dapat memperkuat peradaban manusia dan dunia. Jembatan ini dianggap penting karena berperan sebagai penghubung ilmu-ilmu yang cenderung eksklusif dan tidak saling berhubungan ini holistik (Potter, 1970; Kusmaryanto, 2016).

Dapat disimpulkan bahwa bioetika merupakan bagian dari etika yang bersinggungan dengan implikasi penelitian biologi serta aplikasi bioteknologi dalam kehidupan manusia. Disiplin ilmu ini mempertimbangkan aspek sosial dan moral dalam mengantisipasi hasil atau efek akibat penggunaan teknologi pada makhluk hidup. Yang menjadi pertanyaan penting dalam menganalisis isu bioetika adalah "*Haruskah (prosedur) ini dilakukan?*", bukan "*Apakah (prosedur) ini dapat dilakukan?*". Dan jika jawaban dari pertanyaan pertama adalah "Ini dapat dilakukan", maka pertanyaan berikutnya adalah "*Bagaimana (prosedur) ini dapat dilakukan dengan cara yang benar?*". Pertanyaan-pertanyaan seperti ini sangat penting untuk dipertimbangkan, mengingat aplikasi di bidang biologi atau bioteknologi memiliki pengaruh yang signifikan bagi kesehatan

manusia dan lingkungan (Thieman and Palladino, 2012; Chandra, 2018).

13.3 Bioetika dalam Penelitian

Untuk melihat bioetika secara lebih aplikatif, akan dibahas isu, kasus atau penelitian dalam dunia biomedis dan bioteknologi yang bersinggungan langsung dengan bioetika. Pembahasan ini akan dibagi ke dalam beberapa kategori berdasarkan subjek / objek penelitian.

13.3.1 Penggunaan Hewan Uji dalam Penelitian

Hewan telah lama digunakan sebagai subjek penelitian biologi. Bahkan mencit (tikus putih) telah menjadi ikon penelitian ilmiah, selain mikroskop dan jas laboratorium. Penelitian menggunakan hewan uji menjadi kunci terobosan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya pada bidang medis dan telah menyelamatkan manusia dari berbagai penderitaan akibat penyakit.

Tanpa vaksin polio, yang dikembangkan menggunakan hewan uji, ribuan anak-anak dan orang dewasa bisa mati atau menderita karena penyakit tersebut. Tanpa *dialysis*, yang terlebih dahulu diujikan pada hewan, ribuan pasien penderita gagal ginjal akan meninggal. Tanpa praktik dan latihan operasi pengangkatan katarak pada hewan, jutaan manusia kehilangan penglihatan satu mata tiap tahun. Meskipun mempunyai dampak positif yang besar untuk manusia, penggunaan hewan uji dalam penelitian tetap saja menjadi kontroversi (Thieman and Palladino, 2012; Kabene and Baadel, 2019).

Penggunaan hewan sebagai subjek penelitian tidak sepenuhnya dapat diganti dengan teknik *in-vitro* (kultur sel di luar tubuh organisme) karena beberapa alasan ilmiah. Dalam penelitian untuk mencari obat baru, efek obat tidak hanya diobservasi pada sel atau jaringan tertentu tetapi juga pada organ-organ yang lain. Penggunaan hewan uji harus dilakukan untuk mengkaji dampak obat tersebut pada organisme secara keseluruhan. Suatu obat yang mampu membunuh sel kanker bisa saja mengganggu bahkan merusak organ tertentu dalam tubuh organisme (Ferdowsian and Beck, 2011; Thieman and Palladino, 2012).

Hewan uji dalam penelitian akan mengalami ketidaknyamanan, rasa nyeri, sakit, bahkan bisa sampai mati. Oleh sebab itu, hewan uji dalam penelitian yang bermanfaat bagi manusia mesti dihormati, dipelihara sebaik-baiknya dan mendapatkan perlakuan selayaknya manusia. Peneliti harus mengkaji secara seksama kelayakan dan alasan penggunaan hewan dengan mempertimbangkan antara manfaat bagi manusia dan penderitaan yang akan dialami sebelum memutuskan untuk menggunakan hewan uji (Ridwan, 2013).

Penelitian kesehatan menggunakan hewan uji juga wajib menerapkan prinsip 3R, yaitu *Reduce*, *Replace* dan *Refine*. *Reduce* berarti menggunakan hewan uji sesedikit mungkin dalam penelitian, namun tetap didapat hasil yang optimal. *Replace* artinya mengganti peran hewan uji tingkat tinggi (primata, anjing dan kucing) dengan hewan tingkat rendah, organ hewan, kultur sel dan jaringan atau dengan pemodelan komputer. *Refine* berarti selama penelitian memperlakukan hewan secara manusiawi dan memberikan kondisi terbaik untuk hewan uji tersebut (Thieman and Palladino, 2012; Ridwan, 2013).

13.3.2 Tumbuhan sebagai Objek Penelitian

Penelitian biologi dengan objek tumbuhan tampaknya tidak memiliki masalah yang berkaitan dengan bioetika. Penelitian tradisional menggunakan tumbuhan sudah dilakukan sejak peradaban Mesir kuno. Masyarakat telah berhasil menggunakan teknik pemuliaan tanaman untuk memadukan keunikan dan kekayaan genetik, dan menghasilkan tanaman dengan sifat yang diinginkan. Gregor Mendel, bapak genetika modern juga mengawinkan tanaman kacang ercis (*Pisum sativum*) untuk mengungkap proses pewarisan sifat pada makhluk hidup. Meskipun demikian, prinsip bioetika *Respect*, *Justice* dan *Beneficence* harus tetap diterapkan.

Permasalahan bioetika dalam penelitian tumbuhan mulai muncul saat penggunaan bioteknologi modern seperti rekayasa genetika tumbuhan / *genetically modified crop* (GM crop). Yang membedakannya dengan penelitian tradisional adalah teknologi ini bekerja pada level molekuler. Masuknya tumbuhan hasil rekayasa

genetika dikhawatirkan menimbulkan masalah pada ekosistem alami. Penyebaran gen hasil transgenetik yang seragam dapat menghilangkan keanekaragaman hayati. Sifat herbisida alami pada tumbuhan transgenik dapat menyakiti bahkan membunuh insekta non-target (Shiri, Fakheri and Frouzandeh, 2014; Samanta, Dey and Gayen, 2016).

Isu bioetika lain yang diangkat terkait dengan modifikasi gen tumbuhan adalah hak kekayaan intelektual atau paten terhadap *GM crop* tersebut. Kepemilikan paten *GM crops* dapat membatasi akses terhadap tanaman tersebut, khususnya pada para petani di negara-negara berkembang. Hal ini menimbulkan pertanyaan tentang pemerataan persebaran pemanfaatan hasil penelitian dan seakan-akan ada pihak tertentu yang mengontrol sumber daya pertanian (Mueller, 2009; Ji, Barnett and Chu, 2019).

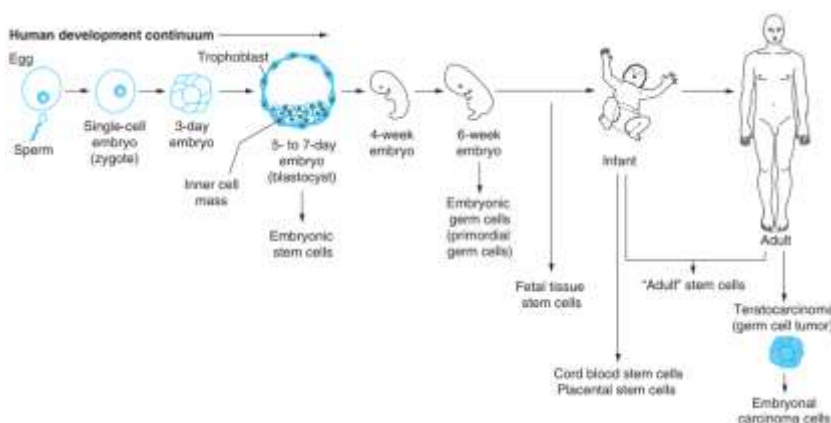
Dapat disimpulkan bahwa, penelitian tumbuhan tidak kebal terhadap isu bioetika, meskipun tumbuhan sering dianggap tidak memiliki kesadaran seperti halnya pada hewan dan manusia. Isu bioetika penelitian tumbuhan mencakup pengaruh terhadap lingkungan, akses terhadap sumber plasma nutfah dan bijak dalam penggunaan teknologi yang berkembang. Regulasi etika dalam penelitian terhadap tumbuhan, khususnya tanaman pangan menuntun para peneliti agar tetap memperhatikan keamanan lingkungan dalam menerapkan bioteknologi pada tanaman.

13.3.3 Manusia sebagai Subjek Penelitian Bioteknologi dan Biomedis

Penelitian biologi dan biomedis pada manusia menghadirkan tantangan etika yang membutuhkan pertimbangan matang sebelum diaplikasikan. Tantangan yang paling besar adalah harus adanya *informed consent* sebelum memulai suatu *treatment* atau penelitian pada subjek. *Informed consent* bukan hanya sekedar persetujuan yang diberikan oleh subjek penelitian, melainkan rangkaian kegiatan mulai dari penyampaian informasi dari peneliti, dokter atau tenaga medis lain tentang manfaat dan risiko dari suatu *treatment* atau tindakan medis yang akan diberikan, sampai pada penandatanganan persetujuan oleh subjek. Hal ini menjadi penting karena setiap subjek penelitian atau pasien berhak mengetahui

konsekuensi dari perlakuan yang diberikan. Mendapatkan *informed consent* bukan hanya bersifat prosedural, melainkan sebuah prinsip dasar etika yaitu *respect* atau menghormati kebebasan pilihan seseorang (Miller and Crigger, 1992; Emanuel, Wendler and Grady, 2000).

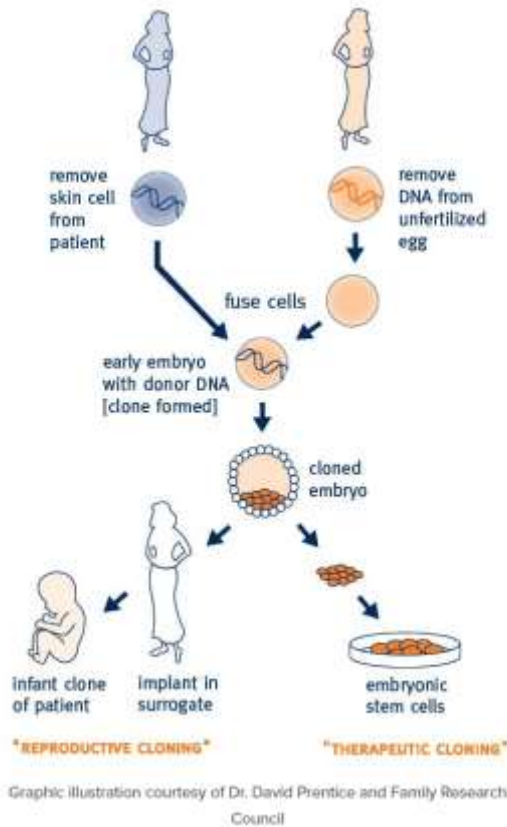
Pemanfaatan bioteknologi molekuler dalam bidang biomedis membuat regulasi bioetika semakin diperketat. *Stem cell*, terapi gen, kloning dan *gene editing* merupakan beberapa teknologi yang disorot dari sisi etika. Isu bioetika yang mencuat dari teknologi *stem cell* adalah sumber dari *stem cell* itu sendiri. Pengambilan *stem cell* embrionik dari embrio manusia yang sedang berkembang menjadi perdebatan etika, karena dapat menghancurkan dan dianggap membunuh embrio tersebut. Pertanyaan yang muncul di sini adalah, “kapan sebuah embrio dianggap sebagai seorang persona” dan “apakah etis jika kita menghancurkan embrio saat memanen *stem cell* dan memanfaatkannya untuk mengobati seseorang yang sakit?”. Kontroversi ini membuat pemanfaatan *stem cell* embrionik masih sangat jarang dan lebih disarankan untuk menggunakan sumber *stem cell* alternatif seperti darah dari pembuluh darah pada jaringan tali pusat dan plasenta janin (*umbilical cord blood*), jaringan tertentu dari orang dewasa atau sel kanker yang dijinakkan (*teratocarcinoma*) (Gambar 13.1.) (Hyun, 2010, 2013; McCormick and Huso, 2010; Thieman and Palladino, 2012).



Gambar 13.1. Sumber-sumber *stem cell*
(Sumber: (Thieman and Palladino, 2012))

Therapeutic cloning merupakan salah satu jenis teknik kloning yang dalam prosesnya akan menghasilkan embrio yang identik dengan pendonor dan diambil *stem cell*-nya untuk tujuan terapi medis bagi kesehatan pendonor. Sama seperti kasus *stem cell*, status moral dari embrio hasil kloning dipertanyakan. Ada pihak yang menganggap bahwa embrio hasil kloning memiliki hak yang sama dengan embrio yang terbentuk secara alami, namun para peneliti berargumen bahwa penggunaan embrio kloning dapat dipertanggungjawabkan secara moral karena penggunaannya hanya untuk terapi kesehatan dan bukan untuk tujuan reproduksi. Pada akhirnya, teknik ini diperbolehkan untuk dilakukan dalam pengawasan regulasi yang ketat oleh International Society for Stem Cell Research (International Society for Stem Cell Research (ISSCR), 2022).

Di sisi lain, *reproductive cloning* merupakan teknik yang mendapat kecaman keras agar tidak dilakukan dalam dunia medis. Dalam teknik ini, embrio hasil kloning diimplantasi dalam kandungan wanita, sampai embrio tersebut berkembang menjadi individu yang identik dengan pendonor DNA (Gambar 13.2). Teknik ini ditentang karena beberapa alasan di antaranya adalah potensi masalah kesehatan pada individu hasil kloning, eksploitasi kaum perempuan sebagai pendonor sel telur dan komodifikasi kehidupan manusia (Bowring, 2004; Häyry, 2018; Geropoulos, 2020).



Gambar 13.2. Skema *therapeutic cloning* dan *reproductive cloning* (Sumber: (Tarne, 2014))

13.3.4 Etika Penelitian Lingkungan

Penelitian tentang lingkungan sejatinya diperlukan untuk mengkaji dan meminimalisir dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan. Namun, hal ini tidak menghilangkan kekhawatiran tentang masalah etika yang dapat muncul seperti kerusakan ekosistem dan spesies tertentu akibat penelitian. Kegiatan penelitian yang seperti pengambilan sampel, mengganggu habitat spesies, atau penggunaan senyawa tertentu dalam penelitian, dikhawatirkan dapat mengganggu stabilitas ekosistem (Alvionita, 2021; McDonald and Simon, 2023).

Isu lain terkait dengan penelitian lingkungan adalah eksploitasi masyarakat lokal dan pengetahuan atau kearifan lokal. Kegiatan penelitian di lokasi tempat tinggal masyarakat lokal tentu akan memberikan dampak terhadap kehidupan sosial dan lingkungannya. Oleh karena itu, prinsip keadilan terhadap lingkungan tempat penelitian harus dijaga dengan cara memastikan bahwa hasil penelitian harus memberikan manfaat bersama, baik kepada peneliti maupun kepada masyarakat lokal. Selain itu, hak-hak masyarakat indigenos dan pengetahuan lokal harus tetap dihormati (McDonald and Simon, 2023).

13.4 Penutup

Etika dalam penelitian biologi bukan hanya sebagai sesuatu yang bersifat pelengkap, tetapi merupakan pilar penting untuk menjaga integritas, tanggung jawab dan kepercayaan terhadap suatu penelitian ilmiah. Pertimbangan etika dalam penelitian biologi mencakup beberapa aspek mulai dari perlakuan terhadap subjek penelitian dan penggunaan teknologi baru secara bertanggung jawab sampai pada pemerataan manfaat hasil penelitian kepada semua pihak yang terlibat, serta wajib memperhatikan kesehatan dan kelestarian lingkungan.

Selain sebagai salah satu *guidelines* dalam penelitian, prinsip-prinsip etika juga berperan sebagai kompas moral bagi para peneliti, agar tidak melakukan kegiatan penelitian yang melenceng dari nilai moral manusia. Etika menyadarkan kita bahwa dalam menggali suatu ilmu pengetahuan dan teknologi baru, harus tetap menjunjung tinggi prinsip-prinsip keadilan, kebermanfaatan, hormat dan integritas.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvionita, D. 2021. 'Peran Etika dalam Penelitian Pendidikan, Biologi dan Lingkungan', *Jurnal Pendidikan Biologi Undiksha*, 8(3), pp. 115–125. Available at: <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JJPB/article/view/36624> (Accessed: 10 August 2023).
- Arnason, G. 2020. 'The Emergence and Development of Animal Research Ethics: A Review with a Focus on Nonhuman Primates', *Science and Engineering Ethics*, 26(4), pp. 2277–2293. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11948-020-00219-z>.
- Arnold, D.G., Beauchamp, T.L. and Bowie, N.E. 2019. *Ethical Theory and Business*. 10th edn. Cambridge University Press. Available at: <https://doi.org/10.1017/9781108386128>.
- Bowring, F. 2004. 'Therapeutic and Reproductive Cloning: A Critique', *Social Science & Medicine*, 58(2), pp. 401–409. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0277-9536\(03\)00206-5](https://doi.org/10.1016/S0277-9536(03)00206-5).
- Chandra, X. 2018. 'Bahan Ajar Bioetika'.
- Emanuel, E.J., Wendler, D. and Grady, C. 2000. 'What Makes Clinical Research Ethical?', *JAMA*, 283(20), pp. 2701–2711. Available at: <https://doi.org/10.1001/jama.283.20.2701>.
- Ferdowsian, H.R. and Beck, N. 2011. 'Ethical and Scientific Considerations Regarding Animal Testing and Research', *PLOS ONE*, 6(9), p. e24059. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024059>.
- Fisher, C.B. 2016. *Decoding the Ethics Code: A Practical Guide for Psychologists*. SAGE Publications.
- Geropoulos, N. 2020. 'Cloning (Reproductive/Therapeutic): Ethical and Legal Issues', 2, pp. 32–55. Available at: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12546206.v1>.
- Gillon, R. 1998. 'Bioethics, Overview', in *Encyclopedia of Applied Ethics*. Elsevier, pp. 267–277. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373932-2.00385-9>.

- Häyry, M. 2018. 'Ethics and Cloning', *British Medical Bulletin*, 128(1), pp. 15–21. Available at: <https://doi.org/10.1093/bmb/ldy031>.
- Hyun, I. 2010. 'The Bioethics of Stem Cell Research and Therapy', *The Journal of clinical investigation*, 120, pp. 71–5. Available at: <https://doi.org/10.1172/JCI40435>.
- Hyun, I. 2013. *Bioethics and the Future of Stem Cell Research*. New York, NY: Cambridge University Press.
- International Society for Stem Cell Research (ISSCR). 2022. *Guidelines for Stem Cell Research and Clinical Translation*, International Society for Stem Cell Research. Available at: <https://www.isscr.org/guidelines> (Accessed: 14 September 2023).
- Ji, J., Barnett, G.A. and Chu, J. 2019. 'Global Networks of Genetically Modified Crops Technology: A Patent Citation Network Analysis', *Scientometrics*, 118(3), pp. 737–762. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03006-1>.
- Kabene, S. and Baadel, S. 2019. 'Bioethics: A Look at Animal Testing in Medicine and Cosmetics in the UK', *Journal of Medical Ethics and History of Medicine*, 12, p. 15. Available at: <https://doi.org/10.18502/jmehm.v12i15.1875>.
- Kusmaryanto, C.B. 2016. *Bioetika*. Kompas.
- LIPI (2007) *Kode Etika Peneliti*. LIPI Press.
- Ma, X. *et al.* 2016. 'CRISPR/Cas9 Platforms for Genome Editing in Plants: Developments and Applications', *Molecular Plant*, 9(7), pp. 961–974. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.molp.2016.04.009>.
- Mandal, J., K.P. D. and Parija, S. 2017. 'Bioethics: A Brief Review', *Tropical Parasitology*, 7, pp. 5–7. Available at: https://doi.org/10.4103/tp.TP_4_17.
- McCormick, J.B. and Huso, H.A. 2010. 'Stem Cells and Ethics: Current Issues', *Journal of Cardiovascular Translational Research*, 3(2), pp. 122–127. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12265-009-9155-0>.

- McDonald, J. and Simon, M. 2023. 'Ethics Requirements for Environmental Research', *Australasian Journal of Environmental Management*, 30(2), pp. 148–169. Available at: <https://doi.org/10.1080/14486563.2023.2217152>.
- Miller, J. and Crigger, B.-J. 1992. 'Ethical Standards for Human Subject Research in Developing Countries', *IRB*, 14(3), pp. 7–8.
- Mueller, J.M. 2009. 'Patent Controls on GM Crop Farming', *Santa Clara Journal of International Law*, 4.
- Nunes, R. 2014. 'Bioethics: Medical', in, pp. 1–10. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-05544-2_44-1.
- Post, S.G. (ed.) 2004. *Encyclopedia of Bioethics*. 3rd ed. New York: Macmillan Reference USA.
- Potter, V.R. 1970. 'Bioethics, the Science of Survival', *Perspectives in Biology and Medicine*, 14(1), pp. 127–153. Available at: <https://doi.org/10.1353/pbm.1970.0015>.
- Rachels, S. and Rachels, J. 2014. *The Elements of Moral Philosophy*. McGraw-Hill Education.
- Ridwan, E. 2013. 'Etika Pemanfaatan Hewan Percobaan dalam Penelitian Kesehatan', *J Indon Med Assoc*, 63(3).
- Samanta, M.K., Dey, A. and Gayen, S. 2016. 'CRISPR/Cas9: An Advanced Tool for Editing Plant Genomes', *Transgenic Research*, 25(5), pp. 561–573. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11248-016-9953-5>.
- Shiri, Y., Fakheri, B.A. and Frouzandeh, M. 2014. 'Plant Biotechnology and Ethical Issues', *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 4.
- Stevens, M.L.T. 2014. 'The History of Bioethics', in *Reference Module in Biomedical Sciences*. Elsevier, p. B9780128012383003000. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.00175-6>.
- Talbot, M. 2012. *Bioethics: An Introduction*. Cambridge ; New York: Cambridge University Press.
- Tarne, E.C. 2014. 'Cloning is Cloning is Cloning', *Lozier Institute*, 1 June. Available at: <https://lozierinstitute.org/cloningiscloning/> (Accessed: 14 September 2023).

- Thieman, W.J. and Palladino, M.A. 2012. *Introduction to Biotechnology*. 3rd ed. Boston: PEARSON.
- Thurtle-Schmidt, D.M. and Lo, T.-W. 2018. 'Molecular Biology at the Cutting Edge: A Review on CRISPR/Cas9 Gene Editing for Undergraduates', *Biochemistry and Molecular Biology Education: A Bimonthly Publication of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology*, 46(2), pp. 195–205. Available at: <https://doi.org/10.1002/bmb.21108>.
- Wang, H.-X. *et al.* 2017. 'CRISPR/Cas9-Based Genome Editing for Disease Modeling and Therapy: Challenges and Opportunities for Nonviral Delivery', *Chemical Reviews*, 117(15), pp. 9874–9906. Available at: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00799>.

BAB 14

INOVASI DAN RISET TERBARU DALAM BIOLOGI

Oleh Reisky Megawati Tammu

14.1 Pendahuluan

Biologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang makhluk hidup dan lingkungannya. Seiring dengan perkembangan teknologi dalam kemajuan zaman, bidang ilmu biologi juga akan semakin berkembang baik dalam aspek pengetahuan teoritis maupun aplikasi praktis. Berbagai riset dilakukan untuk menjawab tantangan kehidupan yang semakin banyak di zaman yang semakin modern.

Penelitian merupakan suatu usaha untuk menyelidiki dan menjawab pertanyaan terkait fenomena yang ditemui di alam sesuai dengan kaidah-kaidah ilmiah (Achadah & Fadil, 2020). Adapun tujuan dari riset untuk menghasilkan suatu pengetahuan, prototype, produk yang bermanfaat bagi kesejahteraan manusia dan keberlangsungan alam (Zahrana, 2020). Sebagai manusia yang diciptakan dengan suatu kemampuan dan keunikan yang berbeda dengan makhluk lainnya, manusia diberikan tanggung jawab untuk menyelidiki dan mengembangkan segala sesuatu yang Tuhan telah ciptakan di dunia ini melalui riset. Hal ini tentunya harus dilakukan dengan benar dan bertanggung jawab kepada Tuhan agar riset apapun yang dikerjakan bisa membawa dampak positif dan memuliakan nama Tuhan, Sang Pencipta.

Dalam bab ini, inovasi dan riset terbaru dalam biologi akan dipaparkan berdasarkan cabang ilmu biologi yaitu genetika dan biologi molekuler, botani dan mikologi, virologi dan mikrobiologi, zoologi, serta ekologi.

14.1.1 Genetika dan Biologi Molekuler

1. Teknologi *genome editing*

Dalam bidang genetika dan biologi sel molekuler, penemuan yang dianggap sebagai salah satu kemajuan ilmiah dan medis terbesar dalam dekade ini adalah CRISPR (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*) - Cas9 (*CRISPR-associated protein 9*). CRISPR - Cas9 merupakan teknik pengeditan genom yang biasa dijuluki gunting genetik (Gostimskaya, 2022). Teknologi ini ditemukan oleh Emmanuelle Charpentier dan Jennifer Doudna sehingga mereka dianugerahi Hadiah Nobel Kimia tahun 2020. Teknologi ini merupakan suatu teknik dalam pengeditan genom organisme dengan cara memotong urutan DNA pada lokasi genetik tertentu untuk mengubahnya dengan menghapus yang lama, atau menyisipkan urutan yang baru (Gostimskaya, 2022).

CRISPR CAS-9 merupakan suatu produk bioteknologi modern untuk rekayasa genetika organisme yang banyak menarik perhatian kalangan ilmuwan karena kemudahan penggunaan, presisi, efektif dan murah (Milas Siswanto & Hadi Kartiko, 2017). Metode mengedit genom dengan memotong urutan DNA ini dapat memberikan potensi dan peluang besar untuk kemajuan dalam berbagai aspek kehidupan manusia seiring dengan perkembangan teknologi terkini.

Di bidang kesehatan, metode pengeditan gen tersebut sudah masuk ke dalam tujuh ranah pengobatan saat ini yaitu kelainan darah, kanker, penyakit mata yang diturunkan, diabetes, penyakit menular, penyakit inflamasi, dan gangguan pelipatan protein. Namun perlu diingat bahwa CRISPR saat ini tidak memengaruhi sperma atau sel telur karena menargetkan sel atau jaringan tertentu pada individu, dengan maksud tidak akan ada perubahan DNA yang akan diwariskan ke generasi selanjutnya (Mafrucati, 2023).

Di sisi lain, teknologi CRISPR/Cas9 masih memiliki potensi untuk dapat menyebabkan mutasi tidak diinginkan dan integrasi DNA asing ke dalam genom manusia, yang bisa membahayakan. Berkaitan dengan hal tersebut, para peneliti dari Universitas Osaka Jepang pada tahun 2023 ini telah

mengembangkan teknik pengeditan genom baru yang dikenal sebagai NICER, yang menghasilkan mutasi di luar target yang jauh lebih sedikit daripada pengeditan CRISPR/Cas9 sehingga tingkat akurasi jauh lebih tinggi. Teknik NICER menggunakan enzim nickase untuk membuat sayatan kecil berulang dalam satu untai DNA yang lebih aman dan lebih efisien (Tomita et al., 2023).

Dalam eksperimen awal, peneliti menggunakan NICER untuk mengobati sel limfoblas manusia dengan mutasi heterozigotik pada gen TK1. Hasilnya menunjukkan NICER jarang sekali menginduksi mutasi di luar target, dan dapat mengembalikan ekspresi gen yang menyebabkan penyakit dalam sel-sel yang berasal dari penyakit genetik dengan mutasi heterozigotik ganda. Secara keseluruhan, NICER dapat menjadi alternatif yang lebih aman daripada metode CRISPR-Cas9 konvensional, karena tidak melibatkan pemotongan beruntai ganda DNA atau penggunaan DNA asing. NICER memiliki potensi untuk menjadi pendekatan baru yang menjanjikan dalam pengobatan penyakit genetik yang disebabkan oleh mutasi heterozigotik (Tomita et al., 2023).

2. Teknologi deteksi penyakit menular

Di bidang kesehatan, ilmuwan baru-baru ini mengembangkan metode untuk mendeteksi penyakit menular yang membahayakan seperti COVID-19. Para peneliti dari Universitas Rutgers melaporkan penelitian mereka tahun 2023 terkait pengembangan cara untuk mendeteksi gejala awal penyakit menular yang mematikan dengan menggunakan tes yang sangat sensitif yaitu berupa sensor elektronik yang terdapat dalam chip komputer. Tes ini menggunakan bola nano yaitu gumpalan bola mikroskopis yang terbuat dari partikel-partikel kecil DNA sebagai materi genetik dan yang digabungkan dengan sistem elektronik canggih (Tayyab et al., 2023). Dari penelitian ini diharapkan dapat merevolusi pendekatan medis terhadap epidemi di masa mendatang.

14.1.2 Botani dan Mikologi

1. Penemuan spesies baru di dunia

Penelitian pada tahun 2022 banyak melaporkan penemuan spesies baru yang unik dari berbagai penjuru dunia. Berikut ini lima diantaranya yaitu:

- a. Jamur *Queen's hedgehog* (*Hydnum reginae*). Jamur ini merupakan jamur putih yang dinamai sesuai dengan duri putih lembut yang dimilikinya (Gambar 14.1) dan sesuai dengan nama Yang Mulia Ratu Elizabeth II. Jamur landak ratu ini persebaran distribusinya terdapat di Amerika utara hingga ke seluruh Eropa.



Gambar 14.1. Jamur landak ratu (*Hydnum reginae*).
Sumber: (<https://www.kew.org/read-and-watch/top-10-species-2022>)

- b. *Carpotroche caceresiae* merupakan sejenis pohon dari hutan hujan Karibia. Pohon ini bisa mencapai ketinggian hingga 15m dan dapat dikenali dari bunganya yang seperti bintang yang tumbuh langsung dari batang utama dan menghasilkan buah bersayap lima yang unik (Gambar 14.2).



Gambar 14.2. *Carpotroche caceresiae*

Sumber: (<https://www.kew.org/read-and-watch/top-10-species-2022>)

- c. *Victoria boliviana* merupakan salah satu jenis tanaman teratai yang sangat besar. Tanaman ini memiliki panjang daun mencapai 3,3 meter di permukaan air tempatnya berada (Gambar 14.3). Hal ini mampu menciptakan daya apung yang bahkan bisa menopang berat badan seorang anak kecil.



Gambar 14.3. *Victoria boliviana*

Sumber: (<https://www.kew.org/read-and-watch/top-10-species-2022>)

- d. *Gomphostemma phetchaburiense* merupakan salah satu spesies tanaman obat, namun terancam punah akibat kotoran merpati di pintu masuk gua di Thailand. Kotorannya yang bersifat asam dapat merusak kemampuan tanaman ini untuk tumbuh. Spesies tanaman ini juga ditemukan di pegunungan terpencil Myanmar oleh ahli botani Inggris, *Frank Kingdom-Ward* (Gambar 14.4).



Gambar 14.4. *Gomphostemma phetchaburiense*

Sumber: (<https://www.kew.org/read-and-watch/top-10-species-2022>)

- e. *Sternbergia mishustinii* merupakan jenis bunga bakung musim dingin yang ada di Turki. Bunga ini berwarna kuning belerang yang cerah dan muncul dari tanah pada bulan Oktober-November. Bunga ini bersifat samar, artinya tidak mekar, dan panjangnya hanya 2 cm.



Gambar 14.5. *Sternbergia mishustinii*

Sumber: (<https://www.kew.org/read-and-watch/top-10-species-2022>)

2. Penemuan spesies baru di Indonesia

Di Indonesia, dilansir dari Kompas (21 Agustus 2023), para peneliti telah berhasil mengidentifikasi spesies baru jenis tumbuhan yang ditemukan dari berbagai daerah. Ada dua spesies yang dilaporkan yaitu *Hanguana sitinurbayai* dan *Bulbophyllum wiratnoi*.

- a. *Hanguana sitinurbayai*, merupakan jenis tumbuhan endemik di Pulau Kalimantan dan hanya terdapat di Cagar Alam Gunung Nyiut tepatnya Kalimantan Barat. Nama tumbuhan ini disesuaikan dengan nama Siti Nurbaya, Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Tumbuhan ini memiliki bulu dan biasanya ditemukan di rawa-rawa luas sekitar pegunungan yang berlumut (Gambar 14.6).



Gambar 14.6. *Hanguana sitinurbayai*

Sumber:

(<https://phytotaxa.mapress.com/pt/article/view/phytotaxa.606.3.7>)

- b. *Bulbophyllum wiratnoi*, merupakan tumbuhan endemik sejenis bunga Anggrek di Papua Barat. Bunga ini memiliki kelopak bunga sesil atau saling melengkapi dengan bentuk filiform berpangkal lebar (Gambar 14.7). Penamaan spesies ini disesuaikan dengan nama Mantan Direktur Jenderal Konservasi Sumber Daya Alam dan Ekosistem (KSDAE) KLHK Wiratno.



Gambar 14.7. *Bulbophyllum wiratnoi*

Sumber: (<https://ksdae.menlhk.go.id/artikel/11965/Anggrek-Spesies-Baru-dari-Taman-Wisata-Alam-Sorong-Provinsi-Papua-Barat-Daya.html>)

Dilansir dari Jakarta Post (01 Agustus 2023), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) juga mengumumkan penemuan tujuh spesies tanaman hias baru di Indonesia. Spesies-spesies baru tersebut meliputi *Hoya batutikarensis* (Gambar 14.8), *Hoya buntokensis* (Gambar 14.9), *Dendrobium dedeksantosoi* (Gambar 14.10), *Rigiolepis argentii* (Gambar 14.11), *Begonia robii* (Gambar 14.12), *Begonia willemii* (Gambar 14.13), dan *Etlingera comosa* (Gambar 14.14). Temuan ini menambah daftar kekayaan keanekaragaman hayati di Indonesia yang memang merupakan salah satu negara megabiodiversitas di dunia. Selain itu, hal ini dapat mendorong penelitian lebih lanjut terkait karakteristik dan potensi pemanfaatan tanaman-tanaman tersebut dalam berbagai bidang kehidupan.



Gambar 14.8. *Hoya batutikarensis*

Sumber: <https://novataxa.blogspot.com/2021/05/hoya-batutikarensis.html>



Gambar 14.9. *Hoya buntokensis*

Sumber: <https://vermonthoyas.com/hoya-species/hoya-sp-kalimantan-slm-01-aka-hoya-sp-buntok/>



Gambar 14.10. *Dendrobium dedeksantosoi*

Sumber:

<https://www.orchidroots.com/detail/information/?pid=101047947&role=pub>



Gambar 13.11. *Rigirolepis argentii*

Sumber:

<https://www.thejakartapost.com/indonesia/2022/01/08/brin-researchers-discoverseven-new-plant-species.html>



Gambar 13.12. *Begonia robii*

Sumber: <https://technology-indonesia.com/teknologi-a-z/ekologi/temukan-tujuh-jenis-baru-tumbuhan-koleksi-keanekaragaman-hayati-indonesia-bertambah/>



Gambar 13.13. *Begonia willemii*

Sumber:

<https://www.vibizmedia.com/2022/06/26/begonia-willemii-jenis-spesies-baru-endemik-sulawesi/>



Gambar 13.14. *Etlingera comosa*

Sumber: <https://betahita.id/news/lipsus/6974/peneliti-temukan-tujuh-jenis-baru-tumbuhan-endemik-indonesia.html?v=1641380010>

14.1.3 Virologi dan Mikrobiologi

1. Penemuan jenis virus baru di laut dalam

Virus baru, sejenis bakteriofag, telah ditemukan di dasar laut di Palung Mariana, sebagai titik terdalam di Bumi oleh tim peneliti ahli virus kelautan yang dipimpin Yu-Zhong Zhang, Ph.D, dari Universitas Kelautan China di Qingdao. Virus ini diisolasi dari sedimen di kedalaman 8.900 meter yang merupakan lingkungan ekstrem. Virus ini menginfeksi bakteri dari filum Halomonas yang sering ditemukan di sedimen laut dalam dan ventilasi hidrotermal. Virus ini juga bersifat lisogenik, yaitu

mampu menginfeksi sel bakteri tanpa membunuhnya, sehingga materi genetik virus disalin dan diteruskan saat sel bakteri membelah diri (Su et al., 2023).

2. Pemecahan misteri terkait virus hepatitis C

Hepatitis C merupakan salah satu penyakit terkait kerusakan pada organ hati yang disebabkan oleh virus, khususnya jenis virus RNA. Para peneliti dari University of Copenhagen telah memecahkan misteri bagaimana virus Hepatitis C mampu menghindari sistem imun tubuh manusia dengan memanfaatkan enzim dari tanaman *Arabidopsis*. Mereka menemukan bahwa virus ini dapat mengenakan "topeng" molekuler yang ada di dalam sel tubuh yaitu FAD (flavin adenine dinucleotide) sehingga sistem kekebalan tubuh tidak mendeteksinya sebagai ancaman. FAD merupakan molekul yang berkaitan fungsinya dengan Vitamin B2 dan ATP, dan sangat penting untuk pengolahan energi bagi sel. Penemuan ini sangat penting karena dapat membuka potensi pengembangan metode baru untuk mengobati infeksi virus, serta mengungkapkan kemungkinan penggunaan strategi serupa oleh jenis virus lain khususnya RNA virus misalnya corona dan influenza (Sherwood et al., 2023).

3. Mikroba yang dapat mengurai sampah plastik

Sampah plastik merupakan salah satu permasalahan yang sangat kompleks dan dialami secara global. Poliuretan merupakan salah satu jenis polimer sintetik yang banyak digunakan untuk busa dan bahan insulasi. Para peneliti telah melakukan pengujian biodegradabilitas bakteri pada poliuretan dan mengisolasi bakteri tanah dari lokasi yang kaya akan sampah plastik yang sudah rapuh. Mereka berhasil mengidentifikasi bakteri *Pseudomonas* sp. dengan sekuensing gen 16S rRNA dan profil asam lemak membran, ditemukan mampu tumbuh pada larutan PU-diol, oligomer poliuretan, sebagai satu-satunya sumber karbon dan energi. Strain bakteri tersebut ternyata mampu menggunakan 2,4-diaminotoluene, prekursor umum dan zat antara degradasi poliuretan, sebagai

satu-satunya sumber energi, karbon, dan nitrogen (Espinosa et al., 2020). Hal ini menjadi temuan penting dalam penelitian yang dapat menjadi salah satu solusi untuk permasalahan sampah plastik di dunia.

14.1.4 Zoologi

1. Penemuan spesies baru di Indonesia

Dilansir dari Kompas (21 Agustus 2023), tim peneliti telah berhasil mengidentifikasi spesies satwa yaitu burung yang diberi nama *Myzomela irianawidodoae*. Burung ini merupakan burung endemik di Pulau Rote, Nusa Tenggara Timur yang ditemukan tahun 2018 oleh ahli burung dan penelitian Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yaitu Dewi Malia Prawiradilaga. Penamaan spesies ini disesuaikan dengan nama Ibu Negara yakni Iriana Widodo. Burung ini memiliki ukuran tubuh yang kecil dan dominan berwarna hitam dan merah (Gambar 14.15).



Gambar 14.15. *Myzomela irianawidodoae*

Sumber:(<https://ppid.menlhk.go.id/berita/berita-foto/954/jenis-burung-baru-di-pulau-rote-ntt-diberi-nama-ibu-negara-myzomela-irianawidodoae>)

2. Keunikan kemampuan otak yang dimiliki ubur-ubur

Ubur-ubur merupakan salah satu hewan yang unik baik dari segi struktur tubuhnya maupun sistem visual kompleks dengan 24 mata yang dimilikinya. Telah diketahui bahwa ubur-ubur tidak memiliki otak pusat. Para peneliti telah melatih ubur-ubur kotak Karibia (*Tripedalia cystophora*) untuk menghindari rintangan, dan hasil penelitian mengungkapkan bahwa ubur-ubur dapat melakukan pembelajaran asosiatif tanpa otak pusat, dengan memanfaatkan perilaku alamiah hewan tersebut menjadi kunci untuk mengajar mereka trik baru. Pusat sensorik visual yang disebut rhopalia merupakan kunci pembelajaran asosiatif pada ubur-ubur, dan diperlukan kombinasi rangsangan visual dan mekanis. Temuan ini mengungkapkan bahwa sistem saraf yang sederhana sekalipun dapat melakukan pembelajaran tingkat lanjut (Bielecki et al., 2023).

14.1.5 Ekologi

1. Pemanasan global dan kaitannya dengan ektomikoriza

Tim peneliti dari Syracuse University dan University of Minnesota yang dipimpin oleh Christopher W. Fernandez melakukan eksperimen terkait perubahan iklim yaitu mempelajari bagaimana jamur dan pohon meresponi perubahan lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanasan global dan tekanan air dapat mengganggu jaringan ektomikoriza dan mengancam ketahanan serta fungsi hutan. Perubahan iklim mengurangi karbon yang diserap oleh pohon, kemudian memengaruhi karbon yang tersedia untuk jamur ektomikoriza, sehingga menyebabkan pergeseran ke spesies dengan biomassa rendah, yang berdampak pada jaringan antar pohon (Fernandez et al., 2023). Temuan ini sangat penting untuk mengingatkan kita pentingnya menjaga pelestarian hutan dan lingkungan serta mendorong kita bertindak aktif untuk meminimalisir dampak pemanasan global.

2. Upaya pemulihan hutan yang rusak

Penanaman kembali hutan yang telah ditebang di pulau Kalimantan dengan campuran beragam bibit mempercepat pemulihan hutan. Penelitian dilakukan oleh Profesor Andy

Hector dari University of Oxford dalam kerangka Kemitraan Penelitian Hutan Hujan Asia Tenggara. HPeneliti telah melakukan eksperimen yang membuktikan bahwa fungsi ekosistem secara umum berhubungan positif dengan tingkat keanekaragaman hayati, namun masih belum jelas seberapa luas dampak ini di dunia nyata dan apakah dampak tersebut dapat dimanfaatkan untuk restorasi ekosistem. Penanaman kembali menggunakan campuran bibit pohon dengan beragam spesies dapat mempercepat pemulihan perkiraan biomassa di atas permukaan tanah, tutupan kanopi, dan indeks luas daun dengan penginderaan jauh. Hasil yang diperoleh konsisten dengan hubungan positif antara keanekaragaman hayati dan fungsi ekosistem di hutan hujan *Dipterocarpaceae* dataran rendah di Asia Tenggara dan menunjukkan bahwa penggunaan beragam spesies dapat meningkatkan pemulihan awal setelah penebangan (Veryard et al., 2023).

3. Ekologi dan kaitannya dengan *Artificial Intelligence*

Institut Studi Ekosistem Cary tahun 2023 menyampaikan bahwa Ekologi dan kecerdasan buatan (AI) akan sangat berdampak baik jika dapat disinergikan. Kebutuhan ini untuk menghadapi tantangan masyarakat saat ini dengan latar belakang perubahan global. Sistem ekologi merupakan tantangan untuk dimodelkan secara penuh dan holistik, bahkan dengan menggunakan teknik AI yang paling menonjol saat ini yaitu *deep neural networks*. Selain itu, sistem ekologi mempunyai keunikan yang dapat menginspirasi arsitektur dan metodologi AI yang baru dan kuat. Jadi, kedua bidang tersebut telah menginspirasi satu sama lain, meskipun secara tidak langsung. Peneliti menekankan perlunya sinergi yang lebih terarah untuk mempercepat pemahaman ketahanan ekologis sekaligus membangun ketahanan yang saat ini kurang dimiliki oleh sistem AI modern. Implikasi diharapkan yaitu sinergi antara AI dan ekologi dapat memperkuat AI dan membantu memecahkan tantangan global yang kompleks, seperti wabah penyakit, hilangnya keanekaragaman hayati, dan dampak perubahan iklim (Han et al., 2023).

DAFTAR PUSTAKA

- Achadah, A., & Fadil, M. 2020. Filsafat Ilmu: Pertautan Aktivitas Ilmiah, Metode Ilmiah dan Pengetahuan Sistematis. *Jurnal Pendidikan Islam*, 4(1 Juni), 131–141.
- Bielecki, J., Dam Nielsen, S. K., Nachman, G., & Garm, A. 2023. Associative learning in the box jellyfish *Tripedalia cystophora*. *Current Biology*, 33(19), 4150-4159.e5. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.08.056>
- Espinosa, M. J. C., Blanco, A. C., Schmidgall, T., Atanasoff-Kardjaleff, A. K., Kappelmeyer, U., Tischler, D., Pieper, D. H., Heipieper, H. J., & Eberlein, C. 2020. Toward Biorecycling: Isolation of a Soil Bacterium That Grows on a Polyurethane Oligomer and Monomer. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00404>
- Fernandez, C. W., Mielke, L., Stefanski, A., Bermudez, R., Hobbie, S. E., Montgomery, R. A., Reich, P. B., & Kennedy, P. G. 2023. Climate change-induced stress disrupts ectomycorrhizal interaction networks at the boreal-temperate ecotone. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(34), e2221619120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2221619120>
- Gostimskaya, I. 2022. CRISPR-Cas9: A History of Its Discovery and Ethical Considerations of Its Use in Genome Editing. In *Biochemistry (Moscow)* (Vol. 87, Issue 8, pp. 777–788). <https://doi.org/10.1134/S0006297922080090>
- Han, B. A., Varshney, K. R., LaDeau, S., Subramaniam, A., Weathers, K. C., & Zwart, J. 2023. A synergistic future for AI and ecology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(38), e2220283120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2220283120>
- Mafrucati, Dr. M. 2023. *Ekspresi Gen dan Teknik Biologi Molekuler untuk kajian veteriner*.
- Milas Siswanto, F., & Hadi Kartiko, B. 2017. Aplikasi Teknologi Crispr/Cas9 Dalam Anti-Aging Medicine. *Jurnal M Edia Sains*, 1(2), 50–56.
- Sherwood, A. V, Rivera-Rangel, L. R., Ryberg, L. A., Larsen, H. S., Anker, K. M., Costa, R., Vågbø, C. B., Jakljevič, E., Pham, L. V, Fernandez-Antunez, C., Indrisiunaite, G., Podolska-Charlery,

- A., Grothen, J. E. R., Langvad, N. W., Fossat, N., Offersgaard, A., Al-Chaer, A., Nielsen, L., Kuśnierczyk, A., ... Vinther, J. 2023. Hepatitis C virus RNA is 5'-capped with flavin adenine dinucleotide. *Nature*, 619(7971), 811–818. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06301-3>
- Su, Y., Zhang, W., Liang, Y., Wang, H., Liu, Y., Zheng, K., Liu, Z., Yu, H., Ren, L., Shao, H., Sung, Y. Y., Mok, W. J., Wong, L. L., Zhang, Y.-Z., McMinn, A., & Wang, M. 2023. Identification and genomic analysis of temperate Halomonas bacteriophage vB_HmeY_H4907 from the surface sediment of the Mariana Trench at a depth of 8,900 m. *Microbiology Spectrum*, 11(5). <https://doi.org/10.1128/spectrum.01912-23>
- Tayyab, M., Barrett, D., van Riel, G., Liu, S., Reinius, B., Scharfe, C., Griffin, P., Steinmetz, L. M., Javanmard, M., & Pelechano, V. 2023. Digital assay for rapid electronic quantification of clinical pathogens using DNA nanoballs. *Applied Science and Engineering*.
- Tomita, A., Sasanuma, H., Owa, T., Nakazawa, Y., Shimada, M., Fukuoka, T., Ogi, T., & Nakada, S. 2023. Inducing multiple nicks promotes interhomolog homologous recombination to correct heterozygous mutations in somatic cells. *Nature Communications*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41048-5>
- Veryard, R., Wu, J., O'Brien, M. J., Anthony, R., Both, S., Burslem, D. F. R. P., Chen, B., Fernandez-Miranda Cagigal, E., Godfray, H. C. J., Godoong, E., Liang, S., Saner, P., Schmid, B., Sau Wai, Y., Xie, J., Reynolds, G., & Hector, A. 2023. Positive effects of tree diversity on tropical forest restoration in a field-scale experiment. *Science Advances*, 9(37), eadf0938. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adf0938>
- Zahran, R. 2020. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Sistem Informasi Manajemen. *Jurnal Akuntansi Universitas Mercubuana*, 1–21.

BIODATA PENULIS



Analekta Tiara Perdana, S.Si., M.Si.

Dosen Biologi

Penulis lahir di Jakarta tanggal 27 Maret 1991. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi, Fakultas Sains, UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Al Azhar Indonesia dan S2 pada Program Studi Mikrobiologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University. Penulis menekuni bidang mikrobiologi pangan.

BIODATA PENULIS



Suharno Zen, M.Sc.

Dosen Program Studi Sains Biomedis
Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Metro

Penulis lahir di Margorejo tanggal 23 Februari 1982. Penulis adalah dosen tetap pada Prodi Sains Biomedis Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Metro. Penulis menyelesaikan pendidikan di S1 Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Lampung dan melanjutkan S2 pada Prodi Ilmu Kedokteran Dasar & Biomedis Minat Utama Parasitologi Kedokteran Fakultas Kedokteran Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Penulis menekuni bidang Parasitologi, vektor penyakit, dan zoologi avertebrata.

BIODATA PENULIS



Ashari Bagus Setiawan, S.Pd., M.Si.

Cambridge Biology Teacher for Lower and Upper Secondary
AL-WILDAN 4 ISLAMIC SCHOOL JAKARTA

Penulis lahir di Surabaya tanggal 17 Agustus 1992. Penulis merupakan pengajar tetap Biologi pada Program Cambridge International Curriculum AL-WILDAN 4 ISLAMIC SCHOOL JAKARTA. Menyelesaikan pendidikan S1 pada program studi Pendidikan Biologi, Jurusan Biologi di Universitas Negeri Surabaya dan melanjutkan S2 pada program studi Biologi Tumbuhan dengan minat Sistematika, Departemen Biologi di IPB University. Buku ini merupakan karya kelima dari penulis.

Setelah lulus dari IPB University, pada 2018 hingga 2020 penulis bekerja sebagai Kurator Herbarium di UPT. Laboratorium Terpadu Universitas Trunojoyo Madura. Kepakaran penulis di bidang Sistematika Tumbuhan telah dibuktikan dengan beberapa karya penelitian berupa diversitas tumbuhan asal Pulau Madura yang telah diungkapkan antara lain: ciri anatomi jenis-jenis *Eleocharis* (*Cyperaceae*), perluasan distribusi *Cleome chelidonii* dan *C. rutidosperma*, identifikasi molekuler kamandin saebo, serta catatan distribusi marga *Tarenna* (*Rubiaceae*). Penulis dapat dihubungi melalui surel berikut: asharibagussetiawan@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Febriana Siska, S.Pd.,M.Si.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Satu Nusa Lampung

Penulis lahir di Baradatu tanggal 22 Februari 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Satu Nusa Lampung. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi di Universitas Lampung dan melanjutkan S2 melalui jalur beasiswa Calon Dosen BPPDN-Dikti tahun 2013 pada Program Studi Biologi Tumbuhan di IPB University. Penulis menekuni bidang Menulis.

Penulis memiliki Motto, Hidup adalah perjuangan, tiada henti dengan semangat juang mengarungi kehidupan dan mencapai ridho Allah. Perbanyak rasa syukur, fokuslah pada hari ini demi menggapai masa depan cerah.

BIODATA PENULIS



Dr. Isna Arofatur Nikmah, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas MIPA Militer Universitas Pertahanan RI

Penulis lahir di Blitar tanggal 11 Juni 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi Fakultas MIPA Militer, Universitas Pertahanan RI. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Brawijaya dan melanjutkan S2 dan S3 pada Program Studi Biologi Tumbuhan, IPB University. Penulis menekuni bidang Sistematika, Evolusi, dan Ekologi Molekuler.

BIODATA PENULIS



Nurcahyo Widyodaru Saputro, S.Si., M.Sc

Dosen Program Studi Agroteknologi

Fakultas Pertanian Universitas Singaperbangsa Karawang

Penulis lahir di Bandung tanggal 30 September 1985. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Singaperbangsa Karawang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Biologi, Universitas Pendidikan Indonesia dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ecology and Biodiversity, Walailak University. Pengalaman dalam penelitian di lapangan dan di dalam laboratorium telah membantu penulis dalam memahami tren perkembangan sains terkini. Selain itu, penulis juga aktif dalam kegiatan sosial masyarakat setempat dan menjadi pembicara dalam berbagai kegiatan pengabdian social.

BIODATA PENULIS



Dr. Safrida, S.Pd., M.Si, AIFO

Dosen tetap pada program studi Pendidikan Biologi Universitas
Syiah Kuala

Dr. Safrida, S.Pd., M.Si, AIFO lahir di Aceh Besar pada Tanggal 5 Agustus 1980. Memulai Karier tahun 2005 sebagai dosen tetap pada program studi Pendidikan Biologi Universitas Syiah Kuala, dan saat ini sebagai Koordinator Program Studi Magister pendidikan Biologi (MPBIO) Universitas Syiah Kuala mulai Tahun 2022-sekarang. Beberapa mata kuliah yang diampu antaranya Fisiologi Hewan dan Anatomi Fisiologi Manusia. Alhamdulillah berperan aktif di berbagai kegiatan hibah penelitian dan pengabdian kepada Masyarakat. No HP: 082272517622. Email: saf_rida@usk.ac.id

BIODATA PENULIS



Zulkarnaim, S.Si., M.Kes.

Dosen Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Alauddin Makassar

Zulkarnaim, S.Si., M.Kes. Lahir di Pannujuang Kabupaten Gowa, 15 Oktober 1982. Penulis mulai memasuki pendidikan formal di SD Inpres Pannujuang Gowa (lulus tahun 1995), SLTP Negeri 2 Bajeng Gowa (lulus tahun 1998), SMU Negeri 1 Galesong Utara Takalar (lulus Tahun 2001). Tahun 2006 Meraih Gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Makassar. Tahun 2012 berhasil meraih Gelar Magister Kesehatan (M.Kes.) pada Jurusan Biomedik konsentrasi Mikrobiologi Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin.

Riwayat menjadi pendidik penulis dimulai dari tahun 2004 - 2006 aktif menjadi asisten Laboratorium Biologi FMIPA UNM. Tahun 2007 sampai tahun 2013 menjadi Dosen Luar Biasa pada Jurusan Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah UIN Alauddin Makassar. Tahun 2013 -2014 diangkat menjadi dosen di Jurusan pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Alauddin Makassar dan dipercaya mengampuh beberapa mata kuliah diantaranya Struktur Hewan, bioteknologi, biokimia, Biologi Reproduksi, dan mikrobiologi.

BIODATA PENULIS



Dr. Drs. I Wayan Suanda, S.P., M.Si

Prodi Pendidikan Biologi FKIP Universitas PGRI Mahadewa
Indonesia

Email: suandawayan65@gmail.com

Kelahiran 31 Desember 1965 di Kelurahan Pedungan, Kecamatan Denpasar Selatan Kota Denpasar-Bali (80222). Jenjang pendidikan dasar dan menengah sampai perguruan tinggi ditempuh di Bali. Pendidikan Tinggi S1 Pendidikan Biologi (1985-1990); S1 Pertanian, Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan (1989-1993); Program Pascasarjana S2 Jurusan Bioteknologi Pertanian Universitas Udayana, Bali (1999-2002) dan Program Doktor (S3) tahun 2012-2017 di Program Studi Ilmu Pertanian, Konsentrasi Sumber Daya Hayati (SDH) di Universitas Udayana. Penulis mulai mengajar di SMP, SMA, SMK di Kota Denpasar dari tahun 1986-2012 dan Dosen PNS Kopertis Wil. VIII (sekarang LLDIKTI) Wil. VIII tahun 1991 yang dipekerjakan pertama kali di Universitas Katolik Widya Mandira Kupang dan akhirnya tahun 1993 direkomendasi di IKIP PGRI Bali (sekarang Universitas PGRI Mahadewa Indonesia), di Denpasar-Bali, ditempatkan (*homebase*) di Program Studi Pendidikan Biologi. Pernah menduduki jabatan di PT yaitu: Kaprodi Pendidikan Biologi (1995-1999); PD III FPMIPA (1999-2003); Kaprodi Pendidikan Biologi (2003-2011); Dekan FPMIPA (2011-2015) dan Ketua Badan Penjamin Mutu (BPM) di tingkat Universitas (2015-2020); Ketua Tim PAK Pengusulan Jabatan Fungsional (2022-sekarang) dan beberapa jabatan organisasi di luar kampus.

Modul/Diktat mengajar serta beberapa produk Pupuk Organik, Pestisida Organik dan pengelolaan sumber daya hayati (SDH) termasuk produk Hasil Fermentasi, serta menjadi Asesor Nasional BKD. Penulis juga menghasilkan buku ber ISBN berjudul: Buku: PERTANIAN BERKELANJUTAN, SEBUAH PENDEKATAN KONSEP DAN PRAKTIS. Terbit: Juli 2020. ISBN 978-623-7559-45-0
<https://drive.google.com/file/d/13MOryloskcY-b-W8ZhMX3X1zSunsJPDX/view?usp=sharing>

1. Buku: “MANISNYA BROTOWALI (*Tinospora crispa* L. Mier) SEBAGAI FITOFARMASIDA”.
Terbit: Juli 2021. ISBN: 978-623-6259-74-0
https://drive.google.com/folderview?id=14LFZTSDwsgqORvHx0phf_Z6NFo6TUBz-
2. Buku: STROBERI SEHAT “PETIK LANGSUNG” TREND AGROWISATA.
Terbit: 16 Februari 2023. ISBN: 978-623-198-089-2
<https://globaleksekutifteknologi.co.id/stroberi-sehat-petik-langsung-trend-agrowisata/>
3. Buku: PERTANIAN ORGANIK
Terbit: Desember 2022. ISBN 978-623-8102-10-5
https://drive.google.com/file/d/1qOWzsQ3GtD8aVM-uQzEdphuFGYR6pfcg/view?usp=share_link
4. Buku: BIOLOGI DASAR UNTUK PERGURUAN TINGGI.
Terbit: November 2022. ISBN: 978-623-8051-54-0
<https://drive.google.com/file/d/1s1tAb18luO6K4BWpjV-Mi2-WF3FN60IZ/view?usp=sharing>
5. Buku: PERLINDUNGAN TANAMAN.
Terbit: Maret 2023. ISBN: 978-623-198-115-8
<https://drive.google.com/file/d/1dkrhJh6WyrDkPqSw6fT8b07mE0eDjWJU/view?usp=sharing>
6. Buku: TEKNOLOGI PERLINDUNGAN HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN UMBI-UMBIAN Lokal. Terbit: April 2023. ISBN: 978-623-8065-33-2
<https://drive.google.com/file/d/15oHqCiIBX4b1KBT5Xb8oao8Hhjzke9Ux/view?usp=sharing>
7. Buku: EKOLOGI TUMBUHAN
Terbit: Mei 2023. ISBN : 978-623-198-334-3

- <https://drive.google.com/file/d/1ssyO6cOzMCqYogRyHuLr0ZHLHz07ozcr/view?usp=sharing>
8. Buku: MIKROBIOLOGI LINGKUNGAN
Terbit: Mei 2023. ISBN: 978-623-198-315-2
https://drive.google.com/file/d/1PmIghNLFV_jN-YVvyef7DPdViCBD9Kfr/view?usp=sharing
 9. Buku: FISILOGI DAN TEKNOLOGI PASCAPANEN.
Terbit: Mei 2023. ISBN: 978-623-198-333-6
https://drive.google.com/file/d/1Y0RuHfcpcm80evjHK9OhvP_GdR8WE8LS/view?usp=sharing
 10. Buku: DASAR-DASAR ILMU HAMA TANAMAN
Terbit: Mei 2023. ISBN : 978-623-198-240-7
<https://drive.google.com/file/d/1889hOWnaGwi6blQ8YCiDCCt6jstiwTVN/view?usp=sharing>
 11. Buku: REMPAH DAN HERBAL DI PEKARANGAN RUMAH
Terbit: 6 September 2023. ISBN : 978-623-198-677-1
https://drive.google.com/file/d/1C4yFDBLHXrMyUPVtiR_9hupLvsZdz4Ls/view?usp=sharing
 12. Buku: EKOLOGI SERANGGA
Terbit: 3 Oktober 2023. ISBN :978-623-198-736-5
<https://drive.google.com/file/d/1EsgRceSEAL31k0O8JyBaMik0WJIN9IbK/view?usp=sharing>

BIODATA PENULIS



Ite Morina Yostianti Tnunay, S.Si, M.Si.

Dosen Program Studi Biologi

Fakultas Pertanian, Sains, dan Kesehatan, Universitas Timor

Penulis lahir di Retraen, 22 Maret 1989. Penulis menamatkan Program Sarjana pada jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Nusa Cendana Kupang dan tamat pada tahun 2011. Penulis kemudian mengambil Prgram Magister pada Program Studi Biologi Tumbuhan, Departemen Biologi, Institut Pertanian Bogor pada tahun 2015 melalui Beasiswa Magister Program Afirmasi yang diselenggarakan oleh Lembaga Pengelola Dana Pendidikan Kementerian Keuangan. Penulis kini aktif menjadi Dosen pada Program Studi Biologi, Fakultas Pertanian, Sains, dan Kesehatan, Universitas Timor, serta menjadi tutor tutorial daring pada Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Terbuka.

BIODATA PENULIS



Juhardi Sembiring, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian
Universitas Nahdlatul Ulama Sumatera Utara

Penulis Lahir di Medan pada tanggal 10 Januari 1990. Penulis merupakan Alumni Sarjana pada Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Sumatera Utara (USU) yang lulus pada tahun 2013. Pada tahun yang sama penulis mendapatkan kesempatan untuk melanjutkan studi melalui program Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN) dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan pada Program Studi Biosains Hewan Institut Pertanian Bogor (IPB) dan menyelesaikan studinya pada tahun 2015. Penulis saat ini merupakan Dosen Biologi pada Program Studi Budidaya Pertanian Universitas Nahdlatul Ulama Sumatera Utara sejak tahun 2016. Sebagai seorang yang sepenuhnya mengabdikan dirinya sebagai dosen, selain pendidikan formal yang telah ditempuhnya penulis juga mengikuti berbagai pelatihan untuk meningkatkan kinerja dosen, khususnya di bidang pengajaran, penelitian dan pengabdian. Pada tahun 2018 tercatat juga pernah mendapatkan Hibah Penelitian dari KEMENRISTEK DIKTI melalui program Penelitian Dosen Pemula. Penulis saat ini aktif bekerja sebagai tenaga ahli dalam advokasi, penelitian dan proyek yang terkait dengan kelestarian lingkungan hidup yang bekerjasama dengan berbagai Lembaga Swadaya Masyarakat, Pemerintah Provinsi, dan Balai Konservasi dan Sumberdaya Alam (BKSDA) Sumatera Utara.

Berbagai karya penelitian telah dihasilkannya dan dimuat dalam jurnal ilmiah. Penulis juga aktif menjadi pemakalah diberbagai kegiatan dan menjadi narasumber pada workshop/seminar/lokakarya tertentu.

Email:juhardis@gmail.com: Instagram: juhardi8.

BIODATA PENULIS



Vivin Kusumaningrum

Guru Mata Pelajaran IPA dan Kepala Laboratorium IPA di MTs Nurul Huda Badean Blimbingsari Banyuwangi

Penulis lahir di Banyuwangi pada tanggal 13 April 1984. Penulis merupakan Guru Mata Pelajaran IPA dan Kepala Laboratorium IPA di MTs Nurul Huda Badean Blimbingsari Banyuwangi. Penulis telah memiliki Serdik Guru IPA sejak 2011 dan Sertifikat Kepala Laboratorium IPA sejak 2018. Penulis juga telah menyelesaikan pendidikan S2 Magister Pendidikan IPA di Universitas Jember sejak 2021.

BIODATA PENULIS



Oktavius Yoseph Tuta Mago, S.Si., M.Si

Dosen Program Studi Pendidikan Biologi

Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Nusa Nipa

Penulis lahir di Larantuka tanggal 20 November 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Nusa Nipa - Maumere. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana pada tahun 2012 dan melanjutkan S2 pada Program Studi Magister Biologi Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro Semarang (2013-2015). Penulis menekuni bidang Mikrobiologi, khususnya pemanfaatan bakteri untuk menghasilkan bio-produk.

BIODATA PENULIS



Reisky Megawati Tammu, S.Pd., M.Sc.

Dosen Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Ilmu Pendidikan,
Universitas Pelita Harapan.

Penulis lahir di Rantepao, Kabupaten Toraja Utara tanggal 25 Mei 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Ilmu Pendidikan, Universitas Pelita Harapan. Tahun 2010 menyelesaikan pendidikan S1 di bidang Pendidikan Biologi di Universitas Pelita Harapan. Penulis menyelesaikan S2 pada bidang Biologi di Universitas Gadjah Mada tahun 2016. Penelitian yang telah dikerjakan banyak berfokus pada kajian genetika dan bioprospeksi tanaman asli Indonesia khususnya cabai Katokkon dari Toraja, serta penelitian pendidikan biologi mengenai *best practice* pengajaran biologi di kelas dan integrasinya dalam konteks pendidikan Kristen. Penulis telah melakukan penelitian mengenai cabai Katokkon sejak tahun 2016 hingga sekarang. Pada tahun 2017, menulis buku yang berjudul “Mengenal Sang Pencipta melalui CiptaanNya: Alga, Fungi, Briofit, dan Pterydophyta” diterbitkan oleh UPH Press. Pada tahun 2022, menulis buku yang berjudul “Karakteristik, potensi genetik, dan pemanfaatan cabai katokkon asal Toraja, Indonesia” yang diterbitkan oleh Universitas Gadjah Mada (UGM) Press.