

ZOOLOGI INTEGRATIF

**Randi Syafutra
Febri Nur Ngazizah
Mirnawati Dewi
Faridah Tsuraya
I Wayan Suanda
Riko Irwanto
Wahyu Anggar Wanto
Fandi Tuju
Rizka Hasanah
Nurzaidah Putri Dalimunthe
Alexander Kurniawan Sariyanto Putera
Meyta Wulandari**



GET PRESS INDONESIA

ZOOLOGI INTEGRATIF

Penulis :

Randi Syafutra
Febri Nur Ngazizah
Mirnawati Dewi
Faridah Tsuraya
I Wayan Suanda
Riko Irwanto
Wahyu Anggar Wanto
Fandi Tuju
Rizka Hasanah
Nurzaidah Putri Dalimunthe
Alexander Kurniawan Sariyanto Putera
Meyta Wulandari

ISBN :

Editor : Sunarno SastroAtmodjo

Penyunting : Tri Putri Wahyuni, S.Pd

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, Desember 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 Zoologi Integratif ini.

Buku ini membahas Hewan dan Perubahan Iklim, Hewan dan Polusi, Hewan dan Penyakit Menular, Hewan dan Invasi Biologis, Interaksi Hewan dan Tumbuhan, Zoogeografi, Zoopaleontologi, Neurologi Hewan, Genetika Hewan, Perilaku Hewan, Ekologi Hewan, Adaptasi Fisiologi Hewan.

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, Desember 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	x
BAB 1 HEWAN DAN PERUBAHAN IKLIM.....	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Dampak Perubahan Iklim pada Struktur dan Komposisi Vegetasi	2
1.3 Dampak Perubahan Iklim pada Pisces	2
1.4 Dampak Perubahan Iklim pada Amfibia	3
1.5 Dampak Perubahan Iklim pada Reptilia	5
1.6 Dampak Perubahan Iklim pada Aves	6
1.7 Dampak Perubahan Iklim pada Mamalia	7
1.8 Langkah-Langkah Penting untuk Menghentikan Dampak Perubahan Iklim	9
DAFTAR PUSTAKA.....	11
BAB 2 POLUSI DAN HEWAN	13
2.1 Pendahuluan	13
2.2 Jenis-Jenis Polusi	13
2.2.1 Polusi Tanah	13
2.2.2 Polusi Air	14
2.2.3 Polusi Udara.....	14
2.2.4 Polusi Suara.....	17
2.2.5 Polusi Cahaya.....	18
2.3 Polusi Yang Berasal Dari Hewan.....	20
2.4 Dampak Polusi Terhadap Hewan.....	20
2.4.1 Dampak Polusi Tanah, Air dan Udara.....	20
2.4.2 Dampak Polusi Suara	22
2.4.3 Dampak Polusi Cahaya	22
2.5 Upaya Untuk Mengurangi Polusi	23
DAFTAR PUSTAKA.....	24
BAB 3 HEWAN DAN PENYAKIT MENULAR	27
3.1 Pendahuluan	27
3.2 Zoonosis dan Penyakit Menular	29
3.2.1 Penyakit menular di era perubahan global	32

3.2.2 Munculnya patogen ke dalam populasi manusia..	33
3.2.3 Perdagangan hewan dan hasil hewan.....	36
3.2.4 Penyakit manusia yang berasal dari hewan peliharaan dan liar	38
3.3 Penyakit Zoonosis di Indonesia	41
3.3.1 Mencegah penyebaran penyakit hewan ke manusia	44
DAFTAR PUSTAKA.....	46
BAB 4 HEWAN DAN INVASI BIOLOGIS	53
4.1 Pendahuluan	53
4.2 Invasi Biologis	54
4.2.1 Hewan Invasif	55
4.2.2 Pengelolaan Spesies Invasif.....	59
4.3 Species Invasif Laut.....	60
4.3.1 Species Invasif pada Lingkungan Laut.....	60
4.3.2 Hewan Laut Invasif.....	61
4.3.3 Biofouling sebagai jalur masuknya species invasif.....	64
4.4 Dampak Spesies Invasif Laut.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	67
BAB 5 INTERAKSI HEWAN DAN TUMBUHAN.....	69
5.1 Pendahuluan	69
5.2 Interaksi Antar Organisme	72
5.2.1 Interaksi Intraspesies (Intraspesifik)	73
5.2.2 Interaksi Interspesies (Interspesifik)	73
5.3 Interaksi Serangga Dan Tumbuhan	74
5.3.1 Aves dan Tumbuhan.....	75
5.3.2 Mammalia dan Tumbuhan.....	76
5.3.3 Manusia dan Tumbuhan.....	78
DAFTAR PUSTAKA.....	82
BAB 6 ZOOGEOGRAFI.....	85
6.1 Pendahuluan	85
6.2 Sejarah adanya persebaran hewan	86
6.3 Persebaran hewan di Indonesia	89
6.4 Faktor-faktor yang menyebabkan persebaran hewan.....	93
DAFTAR PUSTAKA.....	97

BAB 7 ZOOPALEONTOLOGI	99
7.1 Pendahuluan	99
7.2 Konsep dan Pengertian Prasejarah.....	99
7.3 Biologi dan Prasejarah.....	101
7.3.1 Biologi Paleozoikum	101
7.3.2 Biologi Mesozoikum	104
7.3.3 Biologi Neozoikum.....	107
7.4 Penutup.....	110
DAFTAR PUSTAKA.....	111
BAB 8 NEUROLOGI HEWAN	113
8.1 Pendahuluan	113
8.2 Neuron.....	114
8.3 Neuroglia	117
8.4 Sistem Saraf Pusat.....	119
8.4.1 Otak.....	121
8.4.2 Sumsum Tulang Belakang (<i>Spinal Cord</i>)	123
8.6 Sistem Saraf pada Vertebrata	125
8.6.1 Ikan.....	125
8.6.2 Amfibi	125
8.6.4 Aves.....	127
8.6.5 Mamalia.....	127
DAFTAR PUSTAKA.....	128
BAB 9 GENETIKA HEWAN	131
9.1 Pendahuluan	131
9.2 Pewarisan Keturunan Menurut Hukum Mendel	132
9.2.1 Hukum Mendel 1 : Segregasi.....	133
9.2.2 Hukum Mendel II : Berpasangan secara bebas.....	134
9.3 Genetika Pada Hewan	135
9.3.1 Dasar Fisiologi Pewarisan Sifat	135
9.3.2 Kromosom Seks dan Penentuan Jenis Kelamin	136
9.3.3 Persilangan Monohibrid pada Hewan	137
9.3.4 Persilangan Dihibrid pada hewan	140
9.3.5 Pewarisan Sitoplasma	140
9.3.6 Hibridisasi	142
9.4 Perkembangan Genetika Modern	144
9.4.1 Pemetaan Gen Pada Hewan.....	144

9.4.2 Pemanfaatan Informasi Genomik untuk Perbaikan Kualitas Hewan.....	144
DAFTAR PUSTAKA.....	147
BAB 10 PERILAKU HEWAN (ORANGUTAN DI KEBUN BINATANG).....	149
10.1 Pendahuluan	149
10.2 Konsep Perilaku Hewan	151
10.3 Perilaku Belajar Orangutan (<i>Learning Behavior</i>)	154
10.4 Perilaku Harian Orangutan	157
10.4.1 Aktivitas harian Orangutan	157
10.4.2 Penggunaan Pengayaan Lingkungan.....	161
10.5 Kesejahteraan Hewan (<i>Animal Welfare</i>)	163
DAFTAR PUSTAKA.....	165
BAB 11 EKOLOGI HEWAN.....	169
11.1 Pendahuluan	169
11.2 Populasi dan Dinamika Populasi	169
11.3 Konsep Dasar Ekologi Hewan dalam Berbagai Perspektif.....	177
11.4 Kesimpulan	181
DAFTAR PUSTAKA.....	182
BAB 12 ADAPTASI FISILOGI HEWAN	185
12.1 Pendahuluan	185
12.2 Jenis-Jenis Adaptasi.....	185
12.3 Adaptasi Fisiologi	186
12.3.1 Produksi dan Sekresi Racun	187
12.3.2 Feromon	188
12.3.3 Molting dan Ekdisis.....	189
12.3.4 Konsentrasi Urin	191
12.3.4 Lapisan Lemak.....	192
12.3.5 Retensi Nafas.....	192
12.3.6 Implantasi Tertunda.....	193
12.3.7 Hibernasi.....	193
12.3.8 Estivasi.....	194
12.3.9 Perut Empat Kompartemen.....	195
12.3.10 Penggunaan Oksigen yang Efisien	196
DAFTAR PUSTAKA.....	197
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Dampak perubahan iklim pada pisces	3
Gambar 1.2. Dampak perubahan iklim pada amfibia.....	4
Gambar 1.3. Dampak perubahan iklim pada reptilia	5
Gambar 1.4. Dampak perubahan iklim pada aves	7
Gambar 1.5 Dampak perubahan iklim pada mamalia	8
Gambar 2.1. Aplikasi ISPUNet	16
Gambar 2.2. Proses dampak pencemaran mikroplastik melalui rantai makanan.....	21
Gambar 2.3. Strategi pencahayaan untuk mengurangi polusi cahaya	25
Gambar 3.1. Ilustrasi lima tahap evolusi patogen hewan yang menyebabkan penyakit yang hanya menyerang manusia.....	30
Gambar 3.2. Dampak urbanisasi terhadap penyakit menular	33
Gambar 3.3. Memutus rantai zoonosis melalui biosekuriti pada ternak	45
Gambar 4.1. Ikan mas yang melompat di udara.....	56
Gambar 4.2. Ular cokelat pohon	57
Gambar 4.3. Tikus Pengerat Nutria (<i>Myocastor coypus</i>).....	57
Gambar 4.4. Ular pyton Burmese (<i>Phyton bivittatus</i>)	58
Gambar 4.5. Ikan gabus / snakehead (<i>Channa argus</i>).....	59
Gambar 4.6. Kepiting Pantai Eropa (<i>Carcinus maenas</i>)	61
Gambar 4.7. Kerang Zebra (<i>Dreissena polymorpha</i>)	63
Gambar 4.8. Sea squirt (<i>Styela clava</i>)	65
Gambar 5.1. Proses Fotosintesis menghasilkan Glukosa dan Oksigen	70
Gambar 5.2. Interaksi Serangga (Hewan)dan Tumbuhan untuk mencari Nektar pada Bunga Marigold	71
Gambar 5.3. Interaksi Hewan dan Tumbuhan untuk Mencari Makanan	72

Gambar 5.4. Interaksi Hewan dan Tumbuhan, Lebah Madu (<i>Trigona</i> sp.) dan Kupu-Kupu (<i>Lepidoptera</i> sp.) Menghisap Nektar bunga.....	75
Gambar 5.5. Kohe Sapi Diinkubasi Selama 6 Bulan di dalam Tanduk Sapi Betina untuk Dijadikan Pupuk Biodinamik pada Tanaman	77
Gambar 5.6. Aplikasi Pupuk Biodinamik <i>Tree Paste</i> pada Batang Tanaman.....	78
Gambar 5.7. Persembahan Yadnya kepada Tumbuhan saat Tumpek Wariga.....	80
Gambar 5.8. Interaksi Manusia dan Tumbuhan melalui Pembuatan Taman Kota, Kebun Sekolah dan Tempat Wisata.....	81
Gambar 6.1. Perkiraan persebaran hewan.....	87
Gambar 6.2. Perkiraan Perubahan bentang bumi dimulai dari pemisahan Pangea menjadi benua dan pulau-pulau	88
Gambar 6.3. Persebaran beberapa jenis hewan di beberapa benua atau negara	89
Gambar 6.4. Garis maya pembagian penyebaran hewan di Indonesia (Garis Wallace, Weber, Lydekker dan Huxley).....	90
Gambar 6.5. Burung yang ditemukan diperdagangkan dan masuk dalam kategori terancam punah dan dilindungi	92
Gambar 6.6. Ikan lele pengisap [<i>Hypostomus plecostomus</i>] tahan kekeringan ditemukan di Florida	94
Gambar 6.7. Jaring-jaring makanan yang menjadi interaksi antara hewan dan faktor biotik lainnya dalam persebaran hewan	96
Gambar 7.1. Fosil dari Filum Trilobita.....	99
Gambar 7.2. Ilustrasi kehidupan prasejarah.....	100
Gambar 7.3. Fosil <i>Archeocyatha</i>	101
Gambar 7.4. Fosil <i>Arthropoda</i> Raksasa.....	102

Gambar 9.4. Genotipe dan fenotip pada generasi F1 dan F2 yang dihasilkan dari persilangan ayam berjengger tunggal homozigot dengan ras yang berjengger ros homozigot.	138
Gambar 9.5. Sapi Islandia dengan pola roan.....	140
Gambar 9.6. Siput pola melingkar dalam pewarisan maternal	141
Gambar 9.7. Secara morfologi penampakan individu induk betina (A), jantan (B), dan anakan hibrid (C).....	143
Gambar 9.8. Ilustrasi pemanfaatan teknologi genom pada pemilihan hewan ternak.....	145
Gambar 10.1. Persentase aktivitas harian orangutan pada semua tipe kandang di kedua kebun binatang (TMR dan TSI)	158
Gambar 10.2. Perbandingan posisi makan orangutan berdasarkan kategori umur-jenis kelamin pada kedua kebun binatang (TSI dan TMR)	160
Gambar 10.3. Penggunaan pengayaan lingkungan sebagai pendukung aktivitas orangutan.....	163
Gambar 12.1. Kelenjar racun pada ular	188
Gambar 12.2. Ekdisis pada jangkrik, <i>Magicalcada septendecim</i>	190
Gambar 12.3. Molting pada lobster, <i>Homarus americanus</i>	191
Gambar 12.4. Katak kayu membeku di musim dingin dan mencair di musim semi	194
Gambar 12.5. Ilustrasi katak pada kondisi lingkungan hipoksi oleh Erin Walsh.....	195

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Konversi nilai konsentrasi parameter ISPU	15
Tabel 2.2. Kategori angka rentang ISPU	16
Tabel 2.3. Baku tingkat kebisingan.....	17
Tabel 2.4. Skala Bortle dengan NELM	19
Tabel 2.5. Rentang nilai digital number rata-rata untuk setiap kategori polusi cahaya	20
Tabel 4.1. Proporsi (%) species non native yang bertahan di beberapa negara di Dunia.....	55
Tabel 6.1. Spesies hewan endemik yang terancam di Indonesia	91
Tabel 9.1. Jumlah pasang kromosom pada beberapa hewan.....	136
Tabel 9.2. Sifat-sifat terpaut kelamin pada unggas dan mamalia.....	137
Tabel 9.3. Sifat Dominan dan Resesif pada Hewan	138
Tabel 10.1. Matriks hubungan antara aktivitas harian orangutan dengan aspek manajemen kandang	160

BAB 1

HEWAN DAN PERUBAHAN IKLIM

Oleh Randi Syafutra

1.1 Pendahuluan

Perubahan iklim mengacu pada perubahan cuaca secara signifikan sebagai akibat dari faktor alam dan antropogenik yang berdampak langsung atau tidak langsung terhadap struktur vegetasi hutan dan sebaran hewan. Hal ini merupakan tantangan lingkungan hidup yang signifikan dalam skenario saat ini yang menimbulkan ancaman serius terhadap keanekaragaman hayati, khususnya hutan dan hewan. Hewan saling berkaitan dengan kondisi cuaca yang mempengaruhi sebaran vegetasi dan bentuk habitat yang mendukung beragam spesies hewan.

Perubahan iklim berdampak negatif terhadap fungsi ekosistem kehutanan dengan mempengaruhi produktivitas, biomassa, dan interaksi trofik. Hal ini mengintensifkan keseimbangan alami komposisi flora dan struktur vegetasi, yang pada akhirnya mempengaruhi distribusi wilayah jelajah dan penggunaan habitat spesies hewan. Hewan rentan terhadap faktor iklim, seperti suhu, evapotranspirasi, intensitas cahaya, dan kelembaban relatif. Turun dan naiknya suhu mempengaruhi pertumbuhan tanaman hutan, musim berbunga dan berbuah. Perubahan vegetasi mempengaruhi persebaran dan perilaku spesies hewan, seperti migrasi, siklus reproduksi, penempatan, pemilihan habitat, keberhasilan reproduksi, dan aktivitas bersarang spesies hewan (Rajpar *et al.*, 2022).

Maka dari itu, menentukan dampak perubahan iklim terhadap hutan dan hewan merupakan hal yang sangat penting karena hal ini memberikan wawasan tentang bagaimana berbagai faktor mempengaruhi keanekaragaman hayati. Selain itu, hal ini akan membantu dalam merumuskan strategi yang tepat untuk pengelolaan dan konservasi hutan dan hewan.

1.2 Dampak Perubahan Iklim pada Struktur dan Komposisi Vegetasi

Kenaikan suhu menyebabkan mencairnya gletser yang pada akhirnya meningkatkan permukaan air laut sehingga menyebabkan seringnya terjadi banjir di wilayah pesisir. Intrusi air asin telah menyebabkan tekanan pada vegetasi yang mempengaruhi pertumbuhannya, dan beberapa spesies mungkin tidak dapat bertahan hidup pada kandungan garam yang tinggi. Tekanan ini akan memberikan dampak kumulatif yang mengarah pada perubahan ekologis yang dramatis dalam rantai makanan dan struktur vegetasi. Perubahan iklim berpotensi mempengaruhi struktur dan fungsi vegetasi di hutan beriklim sedang, boreal/taiga dan tundra, serta hutan tropis dan subtropis (Rajpar *et al.*, 2022).

Perubahan iklim juga akan menimbulkan dampak negatif terhadap pembungaan, pembungaan, dan siklus reproduksi vegetasi. Hal ini akan meningkatkan risiko kekeringan yang membuat ekosistem rentan terhadap kebakaran. Dengan demikian, vegetasi menjadi kurang tangguh dan lebih rentan terhadap serangan serangga yang menggunduli dan melemahkan pohon, terjadinya kebakaran hutan yang membakar vegetasi sensitif, dan badai yang mencabut dan merusak vegetasi. Kenaikan suhu meningkatkan luas dan intensitas kekeringan sehingga menurunkan produktivitas suatu wilayah tertentu. Di sisi lain, hal ini juga menyebabkan kelangkaan air sehingga vegetasi berkayu menjadi kering dan mudah terbakar serta mengubah fungsi ekosistem hutan. Misalnya, kekeringan yang berkepanjangan mengubah struktur vegetasi, seperti mengubah hutan menjadi semak belukar dan padang rumput (Rajpar *et al.*, 2022).

1.3 Dampak Perubahan Iklim pada Pisces

Perubahan iklim semakin mengancam pisces/ikan, mengakibatkan masa depan yang tidak pasti baik bagi keanekaragaman ikan liar maupun perikanan global (Huang *et al.*, 2021). Perubahan iklim menyebabkan kenaikan suhu laut, menyebabkan ikan bermigrasi ke perairan yang lebih dingin jauh dari garis lintang khatulistiwa, dan berkontribusi pada penyusutan ukuran ikan. Hal ini juga mempengaruhi kelimpahan, pola migrasi,

dan tingkat kematian ikan liar (Gambar 1.1). Dampak iklim terhadap ikan ini akan mempunyai konsekuensi sosial dan ekonomi bagi masyarakat yang bergantung pada sektor perikanan dan budi daya perairan, mulai dari pekerja, masyarakat pesisir, hingga konsumen ikan (Lovei, 2017).



Gambar 1.1. Dampak perubahan iklim pada pisces
(Sumber foto: Sergio Moraes)

1.4 Dampak Perubahan Iklim pada Amfibia

Faktor utama yang menyebabkan penurunan populasi amfibia adalah hilangnya dan terdegradasinya habitat, eksploitasi berlebihan, dan perubahan iklim (Rajpar *et al.*, 2022). Perubahan iklim mengubah periode hidro yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap aktivitas amfibia. Mereka kurang tahan terhadap penurunan dan kenaikan suhu. Perubahan iklim telah menyebabkan lingkungan menjadi lebih kering dan beku sehingga meningkatkan dampaknya terhadap wilayah jelajah dan kelangsungan hidup amfibia (Mokhatla *et al.*, 2015; Cunningham *et al.*, 2016; Rajpar *et al.*, 2022).

Perubahan iklim merupakan ancaman besar terhadap kelangsungan hidup dan reproduksi amfibia (Gambar 1.2). Telah dilaporkan bahwa satu dari setiap tiga spesies amfibia terancam punah akibat kenaikan suhu. Karena spesies ini berdarah dingin, pergerakan mereka terbatas dan tidak dapat bermigrasi dari satu habitat ke habitat lainnya. Jadi, mereka kurang tangguh dan tidak

dapat bertahan hidup dalam kondisi cuaca buruk (Rajpar *et al.*, 2022).



Gambar 1.2. Dampak perubahan iklim pada amfibia
(Sumber foto: Joel Sartore)

Kekeringan mengisolasi habitat sehingga amfibia terbatas pada habitat tertentu yang mungkin tidak cocok untuk mereka (Mokhatla *et al.*, 2015; Rajpar *et al.*, 2022). Amfibia menjadi lebih rentan terhadap kelangkaan air dan mudah diburu oleh predator. Kekeringan menyebabkan kelangkaan makanan, kematian larva, dan kondisi cuaca ekstrem. Kekeringan yang berkepanjangan dan banjir yang tidak dapat diprediksi menyebabkan hilangnya tempat berkembang biak dan kematian, serta menentukan distribusi spesies amfibia, khususnya habitat perairan (Rajpar *et al.*, 2022).

Perubahan iklim juga mengubah perilaku perkembangbiakan amfibia yang pada akhirnya mengakibatkan penurunan kepadatan dan keanekaragaman di habitat perairan yang heterogen. Hal ini berdampak negatif terhadap waktu berkembang biak, keberhasilan penetasan telur, tingkat kelangsungan hidup larva, dan proses metamorfosis (Rajpar *et al.*, 2022).

1.5 Dampak Perubahan Iklim pada Reptilia

Reptilia seperti ular, kadal, buaya, dan penyu merupakan komponen dasar ekosistem dan berperan penting dalam berfungsinya ekosistem. Reptilia merupakan hewan kunci dalam rantai makanan dan jaring makanan yang menyeimbangkan populasi hewan kecil, seperti serangga, hewan pengerat, burung, dan mamalia kecil, serta berfungsi sebagai makanan bagi hewan predator lainnya, seperti burung dan mamalia. Sayangnya, hewan-hewan ini menghadapi ancaman besar akibat aktivitas antropogenik, seperti perubahan habitat, penangkapan ilegal untuk dijadikan makanan dan hewan peliharaan, serta perubahan iklim (Rajpar *et al.*, 2022).

Reptilia paling sensitif terhadap perubahan suhu (Gambar 1.3) karena mereka memodifikasi aktivitas ektotermiknya berdasarkan fluktuasi suhu. Oleh karena itu, mereka menjaga proses fisiologisnya melalui pengaturan suhu tubuh dengan berjemur, menyejukkan diri di tempat teduh, atau menggali tanah. Perubahan iklim berpotensi mempengaruhi pergerakan, wilayah jelajah, serta aktivitas reproduksi dan mencari makan (Rajpar *et al.*, 2022).



Gambar 1.3. Dampak perubahan iklim pada reptilia
(Sumber foto: Aditya Panda & Malavika Bhattacharya)

Karena aktivitas reptilia sangat erat kaitannya dengan iklim mikro dan terbatas pada habitat tertentu, fluktuasi kondisi iklim

mikro dapat menyebabkan kegagalan reproduksi pada reptilia. Sebagai contoh, kenaikan suhu meningkatkan aktivitas reptilia sedangkan penurunan suhu menurunkan aktivitasnya (beberapa spesies reptilia berhibernasi karena cuaca dingin yang parah) (Rajpar *et al.*, 2022).

1.6 Dampak Perubahan Iklim pada Aves

Spesies aves/burung menghuni wilayah Artik, Antartika, pulau-pulau, hutan, pegunungan, lahan basah, dan pesisir. Semua wilayah ini sangat rentan terhadap perubahan iklim. Burung adalah bioindikator perubahan iklim. Mereka berkaitan erat dengan habitat dan kondisi iklim mikro. Produktivitas habitat, pola penggunaan lahan, perubahan kondisi cuaca, dan sumber makanan berpengaruh signifikan terhadap keanekaragaman dan distribusi burung (Rajpar *et al.*, 2022).

Burung merupakan komponen yang sangat penting dalam setiap ekosistem dan memainkan peran penting dalam menyeimbangkan fungsi ekosistem. Sayangnya, mereka menghadapi ancaman besar akibat hilangnya dan gangguan habitat, naik turunnya suhu, dan kelangkaan sumber makanan. Telah dilaporkan bahwa satu dari setiap delapan spesies burung terancam dan hampir punah akibat perubahan iklim dan campur tangan manusia (Rajpar *et al.*, 2022).

Sebagian besar spesies burung tropis mungkin endemik di habitat pegunungan dan dataran rendah. Mereka mudah menjadi rentan dan kurang tangguh akibat perubahan iklim. Telah dilaporkan bahwa kenaikan dan penurunan suhu akibat perubahan iklim telah mengubah periode migrasi, waktu berkembang biak, dan tingkat kelangsungan hidup (Rajpar *et al.*, 2022).

Perubahan iklim mempengaruhi ekologi perkembangbiakan spesies burung dengan menyebabkan burung bertelur lebih awal dari periode waktu biasanya. Hal ini mungkin disebabkan oleh kedatangan burung yang lebih awal ke lokasi bersarangnya. Alasan lain mungkin terkait dengan migrasi spesies burung dari daerah yang lebih dingin ke habitat yang lebih hangat karena parahnya suhu (Gambar 1.4) (Rajpar *et al.*, 2022).



Gambar 1.4. Dampak perubahan iklim pada aves
(Sumber foto: Lee Tiak)

1.7 Dampak Perubahan Iklim pada Mamalia

Mamalia merupakan komponen penting dalam rantai makanan dan jaring makanan. Mereka melakukan peran penting untuk menyeimbangkan ekosistem tertentu. Mereka adalah sumber makanan utama bagi beragam hewan sebagai mangsa dan juga predator yang membunuh dan memakan beberapa hewan lain untuk menyeimbangkan fungsi ekosistem, yaitu mengendalikan populasi hama, menyebarkan benih, mengendalikan vegetasi, dan menyerbuki bunga. Oleh karena itu, dampaknya sangat besar terhadap fungsi ekosistem. Perubahan iklim mengubah kondisi iklim mikro yang mengakibatkan kekeringan, suhu dingin atau panas yang parah atau tidak biasa, dan badai yang berdampak negatif pada relung ekologis spesies mamalia (Rajpar *et al.*, 2022).

Mamalia terkena dampak negatif akibat intervensi manusia, yaitu hilangnya dan terfragmentasinya habitat akibat deforestasi dan degradasi lahan, eksploitasi berlebihan (perburuan tak terkendali), masuknya spesies invasif, serta polusi dan perubahan iklim yang telah mengurangi populasi mamalia karnivora dan ungulata (Newbold, 2018; Rajpar *et al.*, 2022). Dilaporkan bahwa

1141 dari 5487 spesies mamalia terancam punah (*risk of extinction*), 188 spesies mamalia sangat terancam punah (*critically endangered*), dan 29 spesies mamalia sudah punah (Di Marco *et al.*, 2018; Rajpar *et al.*, 2022).

Mamalia memerlukan lingkungan khusus untuk melakukan berbagai aktivitas, seperti tempat berlindung dari predator dan kondisi cuaca buruk, air minum, dan tempat berkembang biak yang sesuai untuk meningkatkan populasi mereka (Gambar 1.5) (Rajpar *et al.*, 2022).



Gambar 1.5 Dampak perubahan iklim pada mamalia
(Sumber foto: Martin Harvey)

Sebagian besar spesies mamalia bersifat berpindah-pindah dan dapat bermigrasi ketika terjadi kelangkaan makanan dan kondisi cuaca buruk. Namun, beberapa spesies mamalia memiliki sebaran dan sumber makanan yang terbatas, seperti beruang kutub, macan tutul salju, pika, anjing laut, dan serigala. Spesies-spesies ini mempunyai risiko lebih tinggi akibat perubahan iklim (Rajpar *et al.*, 2022). Perubahan iklim secara langsung dan tidak langsung mempengaruhi beragam aktivitas spesies mamalia. Perubahan iklim menyebabkan pergeseran wilayah, kelimpahan relatif regional, indeks keanekaragaman, dan struktur populasi (Schumann *et al.*,

2013; Carroll *et al.*, 2014; Laidre *et al.*, 2015; Walsh *et al.*, 2015; Poloczanska *et al.*, 2016; Rajpar *et al.*, 2022).

1.8 Langkah-Langkah Penting untuk Menghentikan Dampak Perubahan Iklim

Rajpar *et al.* (2022) menyarankan beberapa tindakan pencegahan untuk menghentikan hilangnya keanekaragaman hayati dan memitigasi dampak perubahan iklim, yaitu:

- 1. Meningkatkan tutupan vegetasi:** Perkebunan, penyebaran benih, dan pemanfaatan sumber daya hutan secara berkelanjutan mempunyai potensi untuk meningkatkan tutupan vegetasi dan meningkatkan kualitas habitat untuk menampung keanekaragaman yang lebih tinggi dan populasi spesies satwa liar yang heterogen.
- 2. Mendeklarasikan hutan lindung:** Tindakan ini akan membantu menghentikan deforestasi dan penurunan kapasitas penyerapan karbon di hutan. Emisi CO₂ memberikan kontribusi yang signifikan terhadap perubahan iklim.
- 3. Membangun pusat sumber daya keanekaragaman hayati dan perubahan iklim:** Pusat-pusat ini harus didirikan di seluruh negeri untuk memberikan pendidikan dan menumbuhkan kesadaran tentang cara memitigasi perubahan iklim dan melindungi keanekaragaman hayati. Pusat-pusat tersebut juga dapat memberikan informasi mengenai sumber daya keanekaragaman hayati, khususnya hutan dan hewan, dampak hilangnya keanekaragaman hayati, dan penyebab perubahan iklim.
- 4. Melindungi hewan dan habitatnya:** Hewan mempunyai arti penting bagi keberadaan dan kelangsungan hidup manusia. Sayangnya, akibat campur tangan manusia dan perubahan iklim, hewan menghadapi ancaman besar terkait dengan hilangnya habitat, kekurangan pangan, perburuan ilegal, dan perburuan yang tidak terkendali. Karena faktor-faktor ini, populasi hewan telah menurun di seluruh dunia. Kawasan lindung seperti taman nasional, suaka margasatwa, cagar

alam, dan taman wisata alam harus ditetapkan untuk meningkatkan populasi hewan dan memulihkan habitatnya.

5. **Menggunakan energi terbarukan:** Tenaga surya, angin, tenaga air, dan lain-lain harus digunakan secara luas, misalnya untuk memasak dan memanaskan, untuk menggantikan bahan bakar fosil. Hasilnya, emisi CO₂, N₂O, CH₄, dan CFC ke atmosfer akan berkurang.
6. **Berkolaborasi dengan seluruh pemangku kepentingan:** Kolaborasi antara lembaga pemerintah, perencana, pembuat kebijakan, LSM, ahli kehutanan, peneliti, pemerhati lingkungan, masyarakat sipil, promotor, dan komunitas lokal harus ditingkatkan untuk mengembangkan strategi mitigasi iklim yang efektif.
7. **Menggunakan kendaraan hibrida:** Kendaraan hibrida dan bahan bakar gas cair (LPG) perlu digunakan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer.

DAFTAR PUSTAKA

- Carroll, E. L., Rayment, W. J., Alexander, A. M., Baker, C. S., Patenaude, N. J., Steel, D., Constantine, R., Cole, R., Boren, L. J., & Childerhouse, S. 2014. Reestablishment of former wintering grounds by New Zealand southern right whales. *Marine Mammal Science*, 30(1), 206–220. <https://doi.org/10.1111/mms.12031>
- Cunningham, H. R., Rissler, L. J., Buckley, L. B., & Urban, M. C. 2016. Abiotic and biotic constraints across reptile and amphibian ranges. *Ecography*, 39(1), 1–8. <https://doi.org/10.1111/ecog.01369>
- Di Marco, M., Venter, O., Possingham, H. P., & Watson, J. E. M. 2018. Changes in human footprint drive changes in species extinction risk. *Nature Communications*, 9(1), 4621. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07049-5>
- Huang, M., Ding, L., Wang, J., Ding, C., & Tao, J. 2021. The impacts of climate change on fish growth: A summary of conducted studies and current knowledge. *Ecological Indicators*, 121, 106976. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106976>
- Laidre, K. L., Stern, H., Kovacs, K. M., Lowry, L., Moore, S. E., Regehr, E. V., Ferguson, S. H., Wiig, Ø., Boveng, P., Angliss, R. P., Born, E. W., Litovka, D., Quakenbush, L., Lydersen, C., Vongraven, D., & Ugarte, F. 2015. Arctic marine mammal population status, sea ice habitat loss, and conservation recommendations for the 21st century. *Conservation Biology*, 29(3), 724–737. <https://doi.org/10.1111/cobi.12474>
- Lovei, M. 2017, November 11. *Climate impacts on African fisheries: The imperative to understand and act*. World Bank Blogs. <https://blogs.worldbank.org/nasikiliza/climate-impacts-on-african-fisheries-the-imperative-to-understand-and-act>
- Mokhatla, M. M., Rödder, D., & Measey, G. J. 2015. Assessing the effects of climate change on distributions of Cape Floristic Region amphibians. *South African Journal of Science*, 111(11/12), 7. <https://doi.org/10.17159/sajs.2015/20140389>

- Newbold, T. 2018. Future effects of climate and land-use change on terrestrial vertebrate community diversity under different scenarios. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1881), 20180792. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.0792>
- Poloczanska, E. S., Burrows, M. T., Brown, C. J., García Molinos, J., Halpern, B. S., Hoegh-Guldberg, O., Kappel, C. V., Moore, P. J., Richardson, A. J., Schoeman, D. S., & Sydeman, W. J. 2016. Responses of marine organisms to climate change across oceans. *Frontiers in Marine Science*, 3. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00062>
- Rajpar, M. N., Baig, M. B., Behnassi, M., & Reed, M. R. 2022. Impacts of climate change on biodiversity resources, especially forests and wildlife distribution. In *The Food Security, Biodiversity, and Climate Nexus* (pp. 55–85). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-12586-7_4
- Schumann, N., Gales, N. J., Harcourt, R. G., & Arnould, J. P. Y. 2013. Impacts of climate change on Australian marine mammals. *Australian Journal of Zoology*, 61(2), 146. <https://doi.org/10.1071/ZO12131>
- Walsh, H. J., Richardson, D. E., Marancik, K. E., & Hare, J. A. 2015. Long-term changes in the distributions of larval and adult fish in the Northeast U.S. shelf ecosystem. *PLOS ONE*, 10(9), e0137382. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137382>

BAB 2

POLUSI DAN HEWAN

Oleh Febri Nur Ngazizah

2.1 Pendahuluan

Limbah dari aktivitas manusia semakin meningkat setiap tahunnya. Limbah tersebut harus dikelola dengan baik supaya tidak menyebabkan pencemaran. Pada PP No 22 Tahun 2021 menyebutkan bahwa pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan. Pencemaran disebut juga polusi, sedangkan zat penyebab polusi disebut polutan.

Sumber polusi meliputi sumber alami dan sumber buatan. Sumber alami seperti letusan gunung, bencana banjir, tanah longsor, angin topan dan kebakaran hutan. Sumber buatan berasal dari limbah rumah tangga, asap kendaraan bermotor, suara bising kendaraan dan cahaya lampu. Besarnya tingkat polusi dari suatu zat pencemar tergantung dari toksisitas, konsentrasi, lama waktu terpapar dan volume zat pencemar.

2.2 Jenis-Jenis Polusi

2.2.1 Polusi Tanah

Polusi tanah dapat bersumber dari sumber alami maupun sumber buatan. Sumber buatan antara lain:

1. Limbah rumah tangga

Contoh: kantong plastik, bekas kaleng, detergen dan cat

2. Limbah industri

Contoh: limbah pabrik logam yang mengandung timbal, boron dan arsen

3. Limbah pertanian

Contohnya: penggunaan pestisida yang menyebabkan struktur tanah rusak dan kesuburan tanah menurun

Identifikasi polusi tanah dilakukan melalui TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) dan analisis total konsentrasi zat pencemaran. Zat pencemar tersebut meliputi anorganik, anion, organik dan pestisida. Nilai baku untuk identifikasi zat pencemaran terdapat pada PP No 22 Tahun 2021 lampiran XIII.

2.2.2 Polusi Air

Sumber polusi air berasal dari sumber alami maupun sumber buatan. Sumber buatan antara lain limbah rumah tangga, industri dan pertanian yang mencemari air. Secara umum air yang tercemar dapat dilihat dari kejernihan, warna, transparan/ tembus cahaya, bau, rasa dan matinya organisme perairan tersebut.

Indeks Kualitas Air (IKA) dapat dilihat dari parameter derajat keasaman (pH), *biochemical oxygen demand* (BOD), *dissolved oxygen* (DO), *chemical oxygen demand* (COD), *total suspended solid* (TSS), nitrat, fosfat, total nitrogen, fecal coliform, klorofil-a dan transparansi. Untuk mengetahui tingkat polusi air maka perlu membandingkan dengan nilai baku mutu pada air yang tercantum pada PP No. 22 tahun 2021 lampiran VI.

2.2.3 Polusi Udara

Sumber polusi udara berasal dari sumber alami dan sumber buatan:

1. Sumber alami: misalnya berasal dari abu letusan gunung berapi, debu yang terbawa angin dan asap yang berasal dari kebakaran hutan.
2. Limbah rumah tangga dan industri: asap kegiatan rumah tangga dan kendaraan bermotor

Zat penyebab pencemaran udara antara lain: nitrogen dioksida, sulfur dioksida, karbon dioksida, karbon monoksida, chlorouorocarbon, hidrokarbon, timbal dan partikular. Polutan tersebut memiliki sifat yang berbeda-beda yaitu berbau/ tidak berbau, dapat terlihat secara kasat mata/tidak terlihat, dan mempunyai berwarna/tidak berwarna (Abidin *et al.*, 2019).

Pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.P.14/MENLHK/SETJEN/KUM/1/7/2020 indikator polusi udara dinyatakan dalam nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). Nilai ini menggambarkan kondisi mutu udara dan dampaknya terhadap Kesehatan manusia pada lokasi/wilayah tertentu.

Tabel 2.1. Konversi nilai konsentrasi parameter ISPU

ISPU	24 Jam partikulat (PM100) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 Jam partikulat (PM _{2,5}) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 Jam Sulfur dioksida (SO ₂) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 Jam karbon monoksida (CO) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 Jam ozon (O ₃) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 Jam nitrogen dioksida (NO ₂) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 Jam hidrokarbon (HC) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
0-50	50	15,5	52	4000	120	80	45
51-100	150	55,4	180	8000	235	200	100
101-200	350	150,4	400	15000	400	1130	215
201-300	420	250,4	800	30000	800	2260	432
>300	500	500	1200	45000	1000	3000	648

Sumber: (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.P.14/MENLHK/SETJEN/KUM/1/7/2020).

Keterangan:

1. Data hasil pengukuran secara terus menerus terhadap parameter polusi udara selama 24 jam
2. Hasil perhitungan PM_{2,5} dilaporkan setiap jam selama 24 jam, sedangkan parameter selain PM_{2,5} dilaporkan setiap jam 09.00 dan jam 15.00

Tabel 2.2. Kategori angka rentang ISPU

Kategori	Status Warna	Angka Rentang
Baik	Hijau	1-5
Sedang	Biru	51-100
Tidak Sehat	Kuning	101-200
Sangat Tidak Sehat	Merah	201-300
Berbahaya	Hitam	≥301

Sumber: (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.P.14/MENLHK/SETJEN/KUM/1/7/2020).

Masyarakat dapat memantau kualitas udara dengan mudah, cepat dan terbaru dengan mendownload aplikasi ISPUNet di *play store*. ISPUNet merupakan aplikasi berbasis android sebagai kanal informasi untuk memantau kualitas udara. Berikut tampilan ISPUNet.



Gambar 2.1. Aplikasi ISPUNet (sumber: dokumentasi Pribadi)

2.2.4 Polusi Suara

Kebisingan disebut juga dengan polusi suara. Hal ini tercantum dalam undang-undang yaitu keputusan menteri lingkungan hidup No.48 tahun 1996 kebisingan merupakan bunyi pada waktu dan tingkat tertentu sehingga mengakibatkan gangguan pada kesehatan manusia dan lingkungan. Parameter kebisingan dinyatakan dalam Desibel (dB) yang merupakan satuan tingkat kebisingan.

Tingkat kebisingan ditentukan oleh sumber dan intensitas kebisingan. Jenis-jenis kebisingan menurut (AF, 2014) yaitu:

1. Kebisingan kontinu merupakan kebisingan dengan intensitasnya < 6 dB dan terjadi secara kontinu/ terus menerus. Contoh: suara kipas angin dan gergaji sirkuler.
2. Kebisingan *intermittent* adalah kebisingan yang berlangsung tidak kontinu, misalnya: lalu lintas kendaraan bermotor dan pesawat terbang.
3. Kebisingan *impulsive noise* yaitu kebisingan dengan intensitas yang cepat berubah, misalnya ledakan bom dan pukulan palu.
4. Kebisingan impulsif berulang, contohnya mesin tempa untuk pemancangan tiang beton.

Tabel 2.3. Baku tingkat kebisingan

Peruntukan Kawasan/ Lingkungan Kegiatan	Tingkat kebisingan DB (A)
a. Peruntukan kawasan	
1. Perumahan dan pemukiman	55
2. Perdagangan dan Jasa	70
3. Perkantoran dan Perdagangan	65
4. Ruang Terbuka Hijau	50
5. Industri	70
6. Pemerintah dan Fasilitas Umum	60
7. Rekreasi	70
8. Khusus:	
- Bandar udara*)	
- Stasiun Kereta Api*)	
- Pelabuhan Laut	70
- Cagar Budaya	60

Peruntukan Kawasan/ Lingkungan Kegiatan	Tingkat kebisingan DB (A)
b. Lingkungan Kegiatan	
1. Rumah Sakit dan sejenisnya	55
2. Sekolah atau sejenisnya	55
3. Tempat ibadah atau sejenisnya	55

Sumber: KEP-48/MENLH/11/1996

*)disesuaikan dengan ketentuan Menteri Perhubungan

Menurut (Supangat, 2006) polusi suara selain terjadi di darat, juga terjadi di laut. Polusi ini disebabkan penelitian oseanografi dan perikanan, eksplorasi dan eksploitasi gas dan minyak, lalu lintas kapal serta kegiatan militer. Tingkat polusi suara dapat diukur dengan metode sederhana dan cara langsung (Novianus, 2021) sebagai berikut:

1. Metode sederhana, dengan alat *sound level meter* dimana tingkat tekanan bunyi dB (A) dikur selama 10 menit untuk setiap pengukuran. Kemudian setiap 5 detik dilakukan pembacaan.
2. Metode langsung, dengan alat *integrating sound level* meter yang mempunyai fasilitas pengukuran L_{TM5} , yaitu L_{eq} dengan waktu ukur setiap 5 detik, kemudian selama 10 menit dilakukan pengukuran.

2.2.5 Polusi Cahaya

Polusi cahaya merupakan sebuah kondisi dimana cahaya yang memancar berlebihan sehingga menimbulkan gangguan pada makhluk hidup. Sumber polusi cahaya (Observatorium bosscha, 2019) antar lain:

1. *Light Trespass*
Cahaya yang jatuh di tempat yang tidak dibutuhkan sehingga paparan dalam jangka panjang dapat mengganggu kesehatan. Misalnya cahaya lampu di luar rumah yang berlebihan menyebabkan sulit untuk tidur.
2. *Clutter*
Cahaya terang yang berlebihan. Misalnya: papan reklame dan lampu jalan dapat menyebabkan gangguan penglihatan.

3. *Glare*
Glare atau silau mengakibatkan rasa tidak nyaman bahkan dapat menyebabkan gangguan atau iritasi.
4. *Sky Glow*
Skyglow merupakan pendaran langit malam bersumber dari cahaya buatan berlebih yang terpancar ke atas.

Polusi cahaya dapat diidentifikasi dengan cara mengukur tingkat kecerahan langit pada malam hari yang dapat dilakukan dengan beberapa cara (Bortle, 2001; Prastyo & Herdiwijaya, 2018; Putraga *et al.*, 2022; Rakhmadi *et al.*, 2020) antara lain:

1. Menggunakan fotometer *Sky Quality Meter* (SQM)
Alat ini menggunakan skala Bortle. Skala ini juga merupakan referensi silang dari *Naked Eye Limiting Magnitude* (NELM) untuk mengetahui bintang paling redup yang dapat terlihat mata pada daerah yang luas.

Tabel 2.4. Skala Bortle dengan NELM

Kelas	NELM	Kategori
1	7,5-8,0	<i>Excellent dark-sky site</i>
2	7,0 – 7,5	<i>Typical truly dark site</i>
3	6,5 – 7,0	<i>Sky rural</i>
4	6,0 – 6,5	<i>Rural/suburban transition</i>
5	5,5 – 6,0	<i>Suburban sky</i>
6	5,0 – 5,5	<i>Bright suburban sky</i>
7	4,5 – 5,0	<i>Suburban/Urban transition</i>
8	4,0 – 4,5	<i>City sky</i>
9	3,5 – 4,0	<i>Inner-city sky</i>

Sumber: (Putraga *et al.*, 2022).

2. Citra Satelit VIIRS-DNB
Yaitu dengan menggunakan data citra satelit pada pengamatan di malam hari, selanjutnya dari data tersebut dapat diketahui tingkat polusi cahaya.

Tabel 2.5. Rentang nilai digital number rata-rata untuk setiap kategori polusi cahaya

Kategori	Nilai Digital Number ($\text{nWm}^{-2}\text{sr}^{-1}$)
Rendah	-0,06 - 2,78
Sedang	2,79 - 10,25
Tinggi	10,27 - 60,16

Sumber: (Prastyo & Herdiwijaya, 2018)

2.3 Polusi Yang Berasal Dari Hewan

Usaha peternakan hewan seperti kerbau, sapi, kambing dan ayam menghasilkan limbah yang berasal dari urine dan feses hewan tersebut. Limbah peternakan dikelola dengan tidak tepat akan menimbulkan dampak negatif yaitu menyebabkan polusi tanah, air, udara, menurunnya kesehatan peternak dan hewan ternak serta menimbulkan rasa tidak nyaman/gangguan di masyarakat yang dapat memicu terjadinya konflik sosial.

Polutan limbah ternak berupa CO_2 , *hydrogen sulfide*, *amonium* dan CH_4 . Gas tersebut dapat menyebabkan efek rumah kaca (Sirajuddin *et al.*, 2022). Pada tanah, polutan tersebut apabila berlebihan menyebabkan daya dukung tanah melemah. Pada air, zat yang dihasilkan dari limbah peternakan baik cairan, padatan maupun mikroorganisme pathogen dapat masuk ke perairan menyebabkan pencemaran air, sedangkan pada udara menimbulkan aroma yang tidak nyaman.

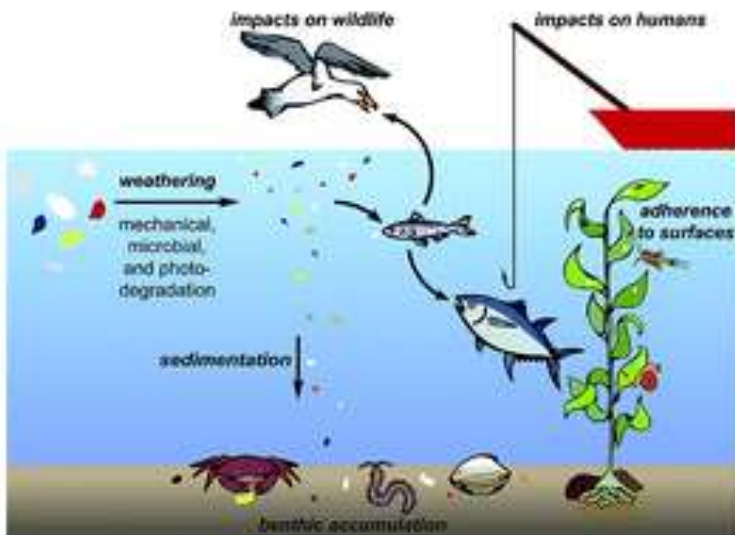
2.4 Dampak Polusi Terhadap Hewan

2.4.1 Dampak Polusi Tanah, Air dan Udara

Dampak negatif zat-zat pencemaran udara air dan tanah terhadap hewan dapat terjadi melalui dua cara. Pertama, secara langsung apabila ada interaksi polutan secara langsung melalui saluran pada tubuh baik system pernafasan, pencernaan dan kontak permukaan tubuh hewan. Interaksi polutan pada udara dapat mengganggu sistem pernafasan hewan bahkan dapat menyebabkan kematian. Polutan mikroplastik pada perairan dapat menyebabkan terjadinya kerusakan fungsi organ produksi enzim, dan kadar hormon tertentu serta memberikan efek akut dan kronis.

Dampak pencemaran tanah terhadap organisme tanah yaitu semakin berkurangnya populasi organisme tanah misalnya cacing.

Kedua, dampak tidak langsung terjadi melalui rantai makanan. Polutan udara seperti SO_2 , partikulat, NO_x , HF dapat berinteraksi dengan tumbuhan dan perairan dapat mengendap atau menempel, kemudian menjalar dan terakumulasi pada hewan melalui rantai makanan (Budiyono, 2010). Hal ini juga dibuktikan dari penelitian (Hamzah, 2011) hasil penelitian membuktikan bahwa *Hydrilla verticillate* menyerap residu insektisida *malathion* lebih tinggi apabila dibandingkan dengan enceng gondok dan kangkung, sehingga apabila tanaman tersebut dikonsumsi ikan maka ikan akan mengkonsentrasikan *malathion* lebih tinggi yang diberi makan *H. verticillata* dibandingkan dengan ikan yang diberi makan kangkung. Kemudian ikan yang terkontaminasi tersebut dikonsumsi oleh tikus menghasilkan ukuran konsentrasi *malathion* yang lebih tinggi daripada tikus memakan tumbuhan (kangkung) yang terkontaminasi. Hal ini juga berlaku pada pencemaran mikroplastik pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Proses dampak pencemaran mikroplastik melalui rantai makanan (Sumber: Lin, 2016).

2.4.2 Dampak Polusi Suara

Dampak polusi suara yaitu terjadi gangguan fisiologis seperti gangguan keseimbangan dan pendengaran, gangguan psikologis/stress sehingga menurunnya tingkat kelangsungan hidup serta menurunnya imunitas tubuh serta gangguan komunikasi. Penelitian (Herwanto *et al.*, 2018) dimana tikus (*Rattus norvegicus*) dibuat bising di dalam ruangan > 80 dB menyebabkan *R. norvegicus* mengalami gangguan pendengaran sementara dan permanen.

2.4.3 Dampak Polusi Cahaya

Dampak polusi cahaya terhadap hewan antara lain dapat mengganggu aktivitas nokturnal, reproduksi, dan mengurangi populasi (Maryam, 2021).

1. Mengganggu aktivitas nokturnal

Hewan nokturnal mempunyai ritme sirkadian untuk beraktivitas secara aktif pada malam hari dan sebaliknya. Hal ini dipengaruhi oleh faktor cahaya. Salah satu invertebrata nokturnal yang habitatnya dekat manusia adalah jangkrik kalung (*Gryllus bimaculatus*). Berdasarkan hasil penelitian terhadap variasi warna cahaya menunjukkan bahwa *G. bimaculatus* berperilaku agresif pada warna cahaya kuning yang ditandai dengan tingginya perilaku agonistik, dan meningkatkan aktivitas gerakan. Sedangkan pada pemberian cahaya kuning dan hijau pola makan meningkat tetapi mortalitasnya juga tinggi (Arianti *et al.*, 2023).

2. Mengganggu reproduksi pada hewan

Penyu laut hidup di laut akan tetapi meletakkan telurnya dan menetas pada malam hari di tepi pantai. Akan tetapi banyak penyu laut tidak datang ke pantai dan bertelur seperti biasanya akibat polusi cahaya (Maryam, 2021).

3. Mengurangi populasi hewan

Beberapa jenis burung bermigrasi menggunakan bintang dan bulan sebagai alat navigasi tidak dapat bermigrasi ke tempat yang tepat pada waktu yang tepat karena polusi cahaya. Sehingga setiap tahun jutaan burung mati bertabrakan dengan bangunan dan menara. Banyak serangga tertarik pada cahaya, tetapi lampu buatan dapat menciptakan daya tarik yang fatal

bahkan menyebabkan serangga mati karena kepanasan (Maryam, 2021).

2.5 Upaya Untuk Mengurangi Polusi

1. Mengurangi polusi air, udara dan tanah dapat dilakukan dengan perbaikan manajemen dan fasilitas pengelolaan limbah serta penggunaan insektisida ramah lingkungan
2. Mengurangi polusi udara dapat dilakukan dengan menanam pohon dan memperbanyak kawasan hijau. Selain itu pohon juga dapat berfungsi sebagai penghalang alami polusi suara.
3. Polusi suara juga dapat dicegah dengan mengurangi kecepatan kendaraan di daerah pemukiman.
4. untuk mengurangi polusi cahaya dapat dilakukan dengan menerapkan 5T yaitu tudungi (memberi tudung pada lampu supaya cahaya jatuh ditempat yang dibutuhkan), tempat (tempatkan lampu pada tempat yang tepat), temperatur (menggunakan lampu dengan watt sesuai kebutuhan), terang (mengurangi tingkat kecerahan lampu), dan temporer (nyalakan lampu apabila diperlukan) (Observatorium Bosscha, 2019).



Gambar 2.3. Strategi pencahayaan untuk mengurangi polusi cahaya (Sumber: Observatorium bosscha, 2019).

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, J., Artauli Hasibuan, F., Kunci, K., Udara, P., & Gauss, D. 2019. Pengaruh Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Untuk Menambah Pemahaman Masyarakat Awam Tentang Bahaya Dari Polusi Udara. *Prosiding SNFUR-4*, 2(2), 978–979.
- AF, A. N. A. 2014. Aplikasi Ekologi Untuk Mencari Kebenaran Dalam Membina Masyarakat Untuk Pengelolaan Lingkungan. *Jurnal Biology Science & Education*, 3(1), 18–26.
- Arianti, L. A., Tito, S. I., & Mubarakati, N. J. 2023. *Analisis Pengaruh Pemberian Polusi Cahaya Terhadap Pola Makan Jangkrik Analysis of the Effect of Light Pollution on Crickets ' Diet Pendahuluan Material dan Metode*. 15–21.
- Bortle, J. E. 2001. *Introducing the Bortle Dark-Sky Scale*. February, 126–130.
- Budiyono, A. 2010. Pencemaran Udara : Dampak Pencemaran Udara Pada Lingkungan. *Dirgantara*, 2(1), 21–27.
- Hamzah, R. 2011. Mempelajari Fisiologi Pencemaran Lingkungan dengan Teknik Radioisotop. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 18(3), 173–178. <http://jpe-ces.ugm.ac.id/ojs/index.php/JML/article/view/55>
- Herwanto, Y., Ilyas, S., & Ramadhani, F. 2018. Perbandingan Efek Garcinia Mangostana Terhadap Organ Korti Pada *Rattus norvegicus* Yang Dinilai Dengan Pemeriksaan Scanning Electron Microscope (SEM). *Talenta Conference Series: Tropical Medicine (TM)*, 1(1), 32–35. <https://doi.org/10.32734/tm.v1i1.52>
- Indonesia. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Indonesia. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020 Tentang Indeks Standar Pencemaran Udara. Jakarta.
- Indonesia. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor:KEP-48/MENLH/11/1996 Tentang Baku Tingkat Kebisingan. Jakarta.

- Lin, V. . 2016. Research highlights: Impacts of microplastics on plankton. *Environmental Science: Processes and Impacts*, 18(2), 160–162.
- Maryam, S. 2021. Kecerlangan Langit dan Polusi Cahaya. *Buletin Cuaca Antartika*, 20–22.
- Novianus, C. 2021. *Modul Praktikum Seri 2: Pengukuran Kebisingan sebagai Pedoman Praktikum Pengukuran Kebisingan pada Mata Kuliah Manajemen Kebisingan dan Ventilasi Kerja*.
- Observatorium Bosscha. 2019. *Polusi Cahaya*. Bosscha Institut Teknologi Bandung. <https://bosscha.itb.ac.id/id/publik/polusi-cahaya/>. Daiakses 2 Oktober 2023.
- Prastyo, H. A., & Herdiwijaya, D. 2018. Analisis Dinamika Polusi Cahaya di Sekitar Observatorium Bosscha Berdasarkan Citra Satelit VIIRS-DNB Analysis of Light Pollution Dynamics Around Bosscha *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*, 5(September), 1–9.
- Putraga, H., Rakhmadi, A. J., & Firdaus, M. D. 2022. Pengukuran Kecerahan Langit Malam dan Polusi Cahaya di Provinsi Sumatera Utara. *SNFA (Seminar Nasional Fisika Dan Aplikasinya)*, 26–34. <https://jurnal.uns.ac.id/prosidingsnfa/article/view/71953>
- Rakhmadi, A. J., Setiawan, H. R., & Raisal, A. Y. 2020. Pengukuran Tingkat Polusi Cahaya dan Awal Waktu Subuh di OIF UMSU dengan Menggunakan Sky Quality Meter. *Titian Ilmu: Jurnal Ilmiah Multi Sciences*, 12(2). <https://doi.org/10.30599/jti.v12i2.667>
- Sirajuddin, S. N., Nurlaelah, S., & Amidah, A. 2022. Tingkat Pencemaran Udara dari Limbah Feses Kerbau Ditinjau dari Persepsi Masyarakat yang Bermukim di Sekitar Pasar Hewan Bolu, Kabupaten Toraja Utara. *Jurnal Ilmu Dan Industri Peternakan*, 8(2), 163–170. <https://doi.org/10.24252/jiip.v8i2.31958>
- Supangat, A. 2006. Berburu Harta Karun di Laut. *Inovasi*, 6(XVIII), 42–47.

BAB 3

HEWAN DAN PENYAKIT MENULAR

Oleh Mirnawati Dewi

3.1 Pendahuluan

Penyakit hewan dapat menyebabkan kerusakan sosial, ekonomi dan lingkungan yang serius dan dalam beberapa kasus juga dapat mengancam kesehatan manusia. Populasi manusia semakin bertambah, membutuhkan lebih banyak ruang untuk produksi pangan, dan membutuhkan lebih banyak hewan untuk memberi makan. Penyakit menular yang muncul semakin meningkat, menyebabkan kerugian baik bagi manusia maupun hewan, serta kerugian yang besar bagi masyarakat. Banyak faktor yang berkontribusi terhadap munculnya penyakit, termasuk perubahan iklim, globalisasi dan urbanisasi, dan sebagian besar faktor-faktor ini sampai batas tertentu disebabkan oleh manusia. Penyakit-penyakit yang ditularkan melalui vektor yang sensitif terhadap iklim kemungkinan besar akan muncul karena perubahan iklim dan perubahan lingkungan, seperti pembuatan irigasi.

Secara historis, penyakit menular mempunyai kontribusi yang mengubah peradaban. Di mulai dengan kemunculan wabah 'anjing galak" di Babilonia pada abad ke-18 Masehi. Pada tahun 541-546 munculnya pandemi pertama Zoonosis di Eropa, Afrika, Asia Tengah, Asia Timur, dan Afrika Utara. Selama pandemi flu Spanyol pada tahun 1918 dan 1920, diperkirakan 50.100 juta manusia di seluruh dunia meninggal karena infeksi tersebut (Johnson & Mueller, 2002). Ketika penyakit *rinderpest* menyebar ke Afrika Timur pada abad ke-19, penyakit ini menyebabkan kematian besar-besaran pada ternak dan diikuti dengan kematian akibat kelaparan pada hampir dua pertiga populasi Massai di Afrika Timur (Mouran, 2018) Penyakit kentang, penyakit jamur, yang menyebabkan kelaparan di Irlandia, mengurangi populasi Irlandia sebesar 25% baik karena kelaparan atau migrasi (Fraser EDG, 2003).

Namun, sejarah mencatat adanya lonjakan angka kesakitan dan kematian. Di Thailand, jumlah kematian akibat infeksi menurun menjadi seperlima dari tahun 1958 hingga 1997, dan kemudian angka tersebut mulai meningkat lagi, terutama karena munculnya HIV (Aungkulanon, 2009). Penyakit termasuk infeksi parasit, menyumbang lebih dari 20% beban penyakit global (Patz, 2005), namun di Afrika angkanya lebih dari 70% (Engels & Savioli, 2006). Epidemi SARS menyeruak pada tahun 2002 di kawasan Asia Timur dan Asia Tenggara. Pada tahun 2009 terjadi pandemi virus H1N1, virus korona muncul pada tahun 2012 di kawasan Timur Tengah dan pada awal Juli 2019 terjadi pandemi Covid-19. Sejarah zoonosis tersebut dapat dijadikan pengingat bahwa semua hewan memiliki resiko menularkan berbagai jenis bakteri, virus, parasit, protozoa, dan jamur hingga ke tubuh manusia.

Bumi saat ini dihuni oleh lebih dari tujuh miliar manusia, dan kita berdampak pada setiap bagian bumi, secara langsung atau melalui polusi dan perubahan iklim di seluruh dunia. Perubahan lingkungan antropogenik mengancam kesehatan manusia dengan menyebabkan kelangkaan pangan dan air, meningkatkan risiko bencana alam dan perpindahan penduduk, serta meningkatkan risiko penyakit menular. Penyakit menular adalah penyakit yang disebabkan oleh kuman (seperti bakteri, virus, dan jamur) yang masuk ke dalam tubuh, berkembang biak, dan dapat menimbulkan infeksi. Beberapa penyakit menular bersifat menular, artinya penyakit tersebut dapat menyebar dari satu orang ke orang lain. Penyakit yang dapat menimbulkan angka kematian dan/atau angka kesakitan yang tinggi pada hewan, menyebabkan keresahan/gangguan pada manusia dan/atau bersifat zoonotik, serta dampak kerugian ekonomi disebut penyakit hewan menular strategis. Penyakit menular yang berpindah dari hewan ke manusia ataupun sebaliknya disebut zoonosis sedangkan infeksi penyakit menular dari manusia ke hewan disebut anthroponosis. Patogen zoonosis dapat berupa bakteri, virus atau parasit, atau mungkin melibatkan agen yang tidak lazim dan dapat menyebar ke manusia dan hewan melalui kontak langsung atau melalui makanan, air atau lingkungan. Zoonosis yang merupakan fokus utama pembahasan pada bab ini.

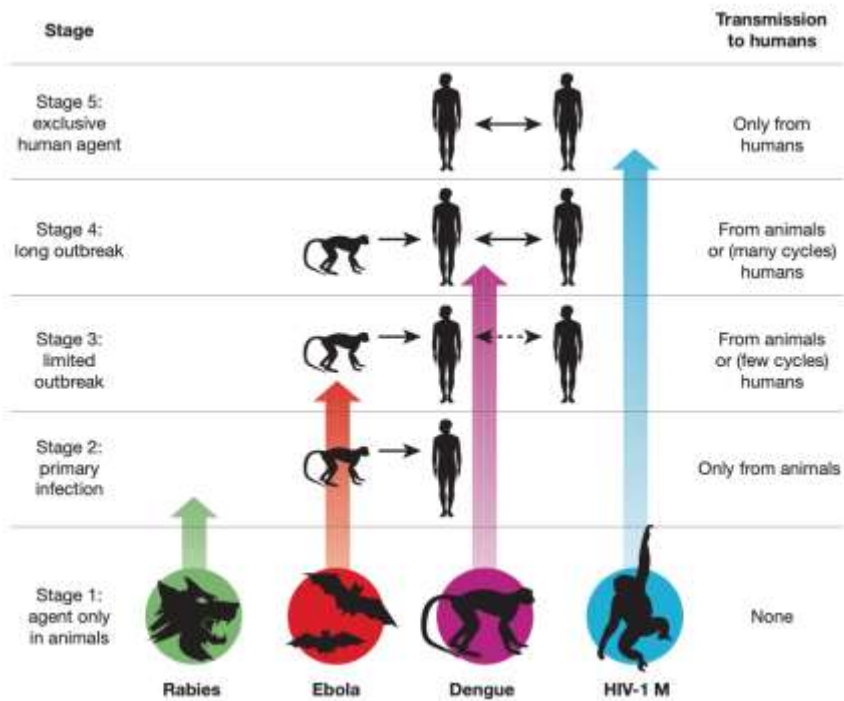
3.2 Zoonosis dan Penyakit Menular

Mulai dari sindrom pernapasan akut parah (SARS) hingga flu burung A (H7N9), abad ke-21 telah menyaksikan munculnya banyak penyakit baru yang terkenal. Penyakit-penyakit tersebut yang disebut penyakit menular yang baru muncul merupakan masalah kesehatan masyarakat yang serius. Hal ini tidak hanya menyebabkan kematian dalam jumlah besar ketika menyebar, tetapi juga mempunyai dampak sosial dan ekonomi yang sangat besar di dunia yang saling terhubung saat ini. Misalnya, perkiraan kerugian langsung akibat Covid-19 bagi Indonesia adalah 12,3% (Hadiwardoyo, 2020). Selain itu, dampak penyakit menular yang baru muncul relatif lebih besar di negara-negara berkembang yang memiliki sumber daya lebih sedikit. Dalam 30 tahun terakhir, lebih dari 30 penyakit menular baru bermunculan. Sayangnya, Asia sering kali menjadi episentrumnya.

Penyakit menular yang baru muncul adalah penyakit yang muncul dan menyerang suatu populasi untuk pertama kalinya, atau sudah ada sebelumnya, namun meningkat dengan cepat, baik dalam hal jumlah kasus baru dalam suatu populasi, atau penyebarannya ke wilayah geografis baru. Juga penyakit menular yang dikelompokkan dalam penyakit menular baru adalah penyakit yang pernah menyerang suatu wilayah di masa lalu, menurun atau terkendali, namun dilaporkan kembali dalam jumlah yang meningkat. Terkadang penyakit lama muncul dalam bentuk klinis baru yang mungkin parah atau berakibat fatal. Penyakit ini dikenal sebagai penyakit yang muncul kembali (*re-emerging disease*), salah satu contohnya adalah chikungunya di India.

Banyak penyakit *emerging* dan *re-emerging* yang berasal dari zoonosis (gambar 3.1). Sekitar 60% dari semua penyakit menular pada manusia yang diketahui sejauh ini, dan sekitar 75% dari penyakit menular baru yang menyerang manusia selama tiga dekade terakhir, berasal dari hewan. Beberapa negara di Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) Asia Tenggara yang wilayah tersebut memiliki kondisi yang mendukung munculnya penyakit-penyakit tersebut, di antaranya dapat mematikan dan menyebar dengan cepat. Penelitian ilmiah terhadap 335 penyakit baru antara tahun 1940 dan 2004 menunjukkan bahwa wilayah tertentu di dunia lebih

mungkin mengalami munculnya penyakit menular baru. Di antara “hotspot” global untuk penyakit menular baru ini adalah negara-negara yang terkait dengan Dataran Indo-Gangga dan Lembah Sungai Mekong. Virus Nipah, demam berdarah Krimea-Kongo, dan flu burung A (H5N1) adalah contoh penyakit yang baru-baru ini muncul dan mempengaruhi WHO Wilayah Asia Tenggara.



Gambar 3.1. Ilustrasi lima tahap evolusi patogen hewan yang menyebabkan penyakit yang hanya menyerang manusia. (Sumber: Wolfe, Dunavan, & Diamond, 2007)

- Tahap 1.** Mikroba yang terdapat pada hewan tetapi belum terdeteksi pada manusia dalam kondisi alamiah.
- Tahap 2.** Patogen pada hewan yang dalam kondisi alamiah telah ditularkan dari hewan ke manusia (“infeksi primer”) namun belum menular antarmanusia (“infeksi sekunder”). Contoh: *Bacillus anthracis*, *Francisella tularensis*, virus Nipah, rabies, dan West Nile.

Tahap 3. Patogen hewan yang hanya dapat mengalami beberapa siklus penularan sekunder antar manusia, sehingga wabah pada manusia yang dipicu oleh infeksi primer akan segera punah. Contoh: virus Ebola, virus Marburg dan virus monkeypox.

Tahap 4. Penyakit yang terjadi pada hewan, dan memiliki siklus alami (silvatik) yang menginfeksi manusia melalui penularan primer dari inang hewan, namun juga mengalami rangkaian penularan sekunder yang panjang antar manusia tanpa keterlibatan inang hewan.

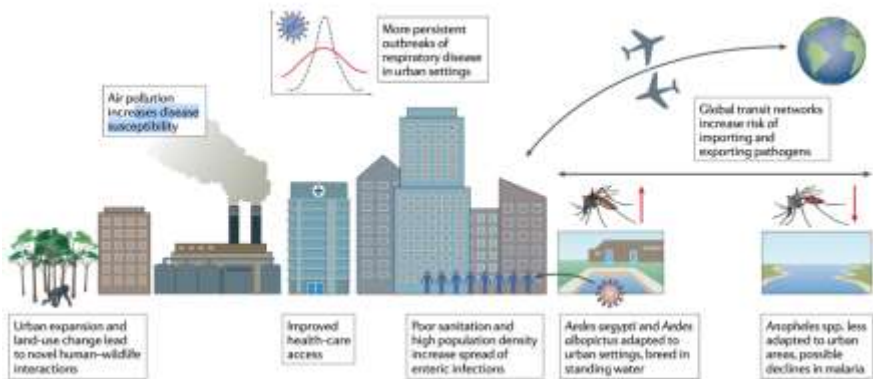
Tahap 5. Patogen yang hanya menyerang manusia. Contoh : agen penyebab malaria *falciparum*, campak, gondongan, rubella, cacar dan sifilis.

Banyak faktor yang memicu munculnya penyakit-penyakit baru, karena faktor-faktor tersebut memungkinkan agen-agen penular untuk berevolusi ke dalam relung ekologi baru, menjangkau dan beradaptasi dengan inang baru, dan menyebar dengan lebih mudah di antara inang-inang baru. Faktor-faktor ini termasuk urbanisasi dan perusakan habitat alami, yang menyebabkan manusia dan hewan hidup berdekatan; perubahan iklim dan perubahan ekosistem; perubahan populasi inang reservoir atau vektor serangga perantara; dan mutasi genetik mikroba. Oleh karena itu, dampak dari suatu penyakit yang baru muncul sulit untuk diprediksi namun bisa berdampak signifikan, karena manusia mungkin memiliki sedikit atau bahkan tidak memiliki kekebalan alami terhadap penyakit tersebut.

Sistem kesehatan masyarakat merupakan prasyarat untuk memerangi wabah penyakit menular yang baru muncul, wabah ini juga dapat mengganggu sistem tersebut secara signifikan. Oleh karena itu, penguatan kesiapsiagaan, pengawasan, pengkajian risiko, komunikasi risiko, fasilitas laboratorium dan kapasitas tanggap di kawasan merupakan hal yang sangat penting. Sama pentingnya untuk membangun kemitraan antara sektor kesehatan hewan, pertanian, kehutanan dan kesehatan di tingkat nasional, regional dan tingkat global.

3.2.1 Penyakit menular di era perubahan global

Di masa pramodern, penjajahan, perbudakan, dan perang menyebabkan penyebaran penyakit menular secara global, dengan konsekuensi yang sangat buruk. Penyakit manusia seperti tuberkulosis, polio, cacar dan difteri tersebar luas, dan sebelum ditemukannya vaksin, penyakit-penyakit ini menyebabkan kesakitan dan kematian yang besar. Pada saat yang sama, penyakit hewan seperti *rinderpest* menyebar di sepanjang jalur perdagangan dan melalui transportasi, sehingga menimbulkan dampak buruk terhadap ternak dan populasi manusia (Roeder, 2013). Namun, dalam dua dekade terakhir, kemajuan medis, akses terhadap layanan kesehatan dan peningkatan sanitasi telah mengurangi keseluruhan angka kematian dan morbiditas yang terkait dengan penyakit menular, khususnya infeksi saluran pernafasan dan penyakit diare. Perkembangan vaksin virus corona 2 (SARS-CoV-2), sindrom pernafasan akut yang parah menunjukkan kemanjuran ilmu pengetahuan modern dalam melawan ancaman patogen yang muncul dengan cepat. Namun demikian, beban penyakit menular masih besar di negara-negara dengan pendapatan menengah dan rendah ke bawah, sementara angka kematian dan kesakitan yang terkait dengan penyakit tropis yang terabaikan, infeksi HIV, TBC dan malaria masih tetap tinggi. Selain itu, kematian akibat infeksi *emerging* dan *re-emerging*, dibandingkan dengan infeksi musiman dan endemik, masih terus terjadi sepanjang abad kedua puluh satu. Hal ini menunjukkan kemungkinan terjadinya era baru penyakit menular, yang ditandai dengan wabah patogen yang muncul kembali, dan endemik yang menyebar dengan cepat, dibantu oleh konektivitas global dan pergeseran penyebaran akibat perubahan iklim. Pada saat yang sama, secara global, perpindahan ke daerah perkotaan dapat membawa manfaat dalam hal peningkatan akses terhadap layanan Kesehatan (gambar 3.2).



Gambar 3.2. Dampak urbanisasi terhadap penyakit menular
(Sumber: Baker et al., 2022)

3.2.2 Munculnya patogen ke dalam populasi manusia

Beberapa dekade terakhir telah terjadi kemunculan berulang patogen dari reservoir hewan liar atau domestik ke populasi manusia, mulai dari HIV-1 dan HIV-2, hingga virus influenza tahun 1918, hingga virus corona sindrom pernapasan di Timur Tengah, hingga SARS-CoV-2. Agar patogen baru dapat menjadi ancaman terhadap populasi manusia, pertama-tama, kontak antara manusia dan hewan yang menjadi reservoir harus terjadi; patogen tersebut harus berevolusi, kemampuan untuk menularkan dari manusia ke manusia (Lloyd-Smith, 2009); dan yang terakhir, penularan dari manusia ke manusia ini harus memungkinkan perluasan jangkauan geografis patogen di luar zona penyebarannya. Perubahan global terkini telah mempengaruhi setiap langkah tersebut.

Pola kontak antara manusia dan satwa liar meningkat seiring dengan perpindahan populasi manusia ke wilayah yang sebelumnya tidak dihuni. Pertumbuhan populasi dan ekspansi pertanian, ditambah dengan peningkatan kekayaan dan ukuran properti yang lebih besar, merupakan faktor pendorong interaksi ini dan mengakibatkan kerusakan habitat. Hal ini mungkin terjadi bersamaan dengan perilaku yang meningkatkan potensi penularan, seperti konsumsi daging hewan liar (Brashares et al, 2004), atau peningkatan kontak antara hewan liar dan hewan peliharaan. Misalnya, virus Nipah telah diidentifikasi pada beberapa populasi

kelelawar, namun pada tahun 1999 menyebabkan wabah penyakit yang parah di Malaysia, terutama di kalangan peternak babi (Parashar, 2000). Ada hipotesis bahwa penyebaran virus Nipah dari kelelawar ke babi didorong oleh tiga faktor yang terkait dengan perubahan global: perluasan peternakan babi ke habitat kelelawar; intensifikasi peternakan babi, yang menyebabkan tingginya kepadatan inang; dan perdagangan internasional, yang menyebabkan penyebaran infeksi pada populasi babi lainnya di Malaysia dan Singapura (Field et al, 2001).

Perluasan pertanian dan intensifikasinya dapat menciptakan kondisi yang mendukung sirkulasi patogen di dalam reservoir hewan domestik (atau tumbuhan) melalui praktik peternakan dengan kepadatan tinggi (Pitzer et al, 2016). Selain menciptakan peluang munculnya patogen ternak yang bermasalah, hal ini juga dapat meningkatkan peluang berkembangnya varian risiko baru terhadap manusia pada reservoir hewan peliharaan. Hal ini mungkin terjadi bersamaan dengan peningkatan risiko bagi pekerja yang berinteraksi dengan populasi hewan (Jones et al, 2013) sebagai akibat dari praktik kerja. Peningkatan permintaan global dan intensifikasi produksi daging akan mendorong proses ini, dan penggunaan antibiotik pada hewan peliharaan mempunyai potensi untuk memilih strain bakteri resisten yang berpotensi mempengaruhi kesehatan manusia (van Boeckel et al, 2020).

Sifat populasi manusia yang terkena potensi dampak limpa juga berubah. Misalnya, pemberantasan penyakit cacar menyebabkan penghentian vaksinasi terhadap penyakit cacar, yang mungkin menyebabkan perluasan penyakit cacar monyet (Rimoin et al. 2010). Secara umum, populasi yang menua secara global dapat memberikan kondisi kekebalan tubuh yang lebih berisiko terhadap penyebaran penyakit, karena kondisi kekebalan tubuh yang menua kurang mampu membendung agen infeksi (Aw, Silva, & Palmer, 2007). Persimpangan antara menurunnya fungsi kekebalan pada usia lanjut (Nikolich-Zugich, 2018) dan populasi yang menua secara global dapat meningkatkan kemungkinan munculnya patogen, namun hal ini masih bersifat dugaan dan merupakan bidang penelitian yang penting. Perubahan konteks global memungkinkan patogen manusia yang ada untuk mengembangkan karakteristik

baru dan memperluas cakupannya. Seleksi resistensi obat kini terjadi di seluruh dunia, dan resistensi antibiotik telah dan akan berkembang berulang kali (Laxminarayan et al . 2013). Seperti halnya resistensi antibiotik, penyebaran global yang cepat merupakan hal yang lumrah dalam resistensi antimalaria setelah evolusi (Talisuna, Bloland, & D'Alessandro, 2004).

Perubahan iklim mungkin berperan pada risiko penyebaran pathogen. Perubahan kondisi lingkungan dapat mengubah kisaran dan kepadatan spesies, sehingga menyebabkan interaksi baru antar spesies, dan meningkatkan risiko munculnya zoonosis (Carlson et al. 2020). Serangkaian virus lingkungan yang digabungkan menyebar ke populasi kuda di wilayah selatan, dan kuda-kuda ini kemudian menginfeksi manusia (Martin, G. et al. 2018; , Yuen, K. Y. et al. 2021). Pola perubahan kemungkinan juga terjadi pada populasi kelelawar lainnya secara global, namun masih belum diteliti. Hal ini jelas menimbulkan kekhawatiran mengingat pentingnya peran populasi kelelawar sebagai inang reservoir bagi beberapa patogen dengan tingkat kematian yang tinggi (Brook et al, 2020).

Pesatnya laju urbanisasi di negara-negara berpendapatan menengah dan rendah, serta peningkatan populasi yang tinggal di tempat tinggal yang padat dan berkualitas rendah, telah menciptakan peluang baru bagi munculnya penyakit menular. Urbanisasi telah mendorong munculnya dan menyebarnya penyakit arboviral seperti demam berdarah, penyakit virus Zika, dan chikungunya, yang ditularkan melalui nyamuk *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus* yang mampu beradaptasi dengan baik di wilayah perkotaan (Gubler, 2011; Li et al, 2014; Rose et al, 2020). Kepadatan populasi *Ae. aegypti* tampaknya berkorelasi dengan keberadaan manusia (Rose et al., 2020). Namun peran urbanisasi dalam penyebaran penyakit yang ditularkan melalui vektor sangatlah kompleks: preferensi *Anopheles* spp. vektor untuk lingkungan pedesaan mungkin telah menyebabkan penurunan prevalensi malaria di daerah perkotaan (Tatem et al. 2013). Namun demikian, daerah perkotaan yang padat dan sangat terhubung merupakan titik rawan penyebaran penyakit seperti COVID-19 dan SARS, dan kota dapat menjadi katalisator penularan lokal dan global yang cepat.

3.2.3 Perdagangan hewan dan hasil hewan

Perdagangan internasional telah berkembang pesat di era modern dan diimbangi dengan perkembangan penyakit menular secara global yang tidak hanya menyerang manusia tetapi juga hewan dan tumbuhan (Perrings, 2016; Smith et al. 2009). Perdagangan hewan telah berkontribusi terhadap berbagai wabah dan kejadian baru secara global, yang berdampak besar pada sektor pertanian secara keseluruhan dan menimbulkan risiko besar bagi kesehatan hewan dan masyarakat. Sejumlah besar ternak diperdagangkan setiap tahun antar negara dan dapat memfasilitasi penyebaran patogen. Demam *Rift Valley* misalnya, adalah penyakit virus yang ditularkan melalui vektor zoonosis yang menyebabkan aborsi dan kematian neonatal yang tinggi pada hewan ruminansia domestik. Penyakit ini tersebar luas di benua Afrika dan baru-baru ini terdeteksi di Arab Saudi dan Yaman. Perpindahan ternak hidup antara Afrika Timur dan semenanjung Arab atau dari Persatuan Komoro ke Madagaskar diperkirakan berkontribusi terhadap masuknya virus demam *Rift Valley* dan menyebabkan wabah di lokasi tersebut pada tahun 2000 (Semenanjung Arab) dan 2008 (Madagaskar) (Lancelot et al., 2017).

Selain itu, perdagangan produk turunan hewan seperti daging dapat memungkinkan pergerakan patogen jarak jauh dan antar benua. Misalnya, demam babi Afrika adalah virus yang sangat menular yang menyerang beberapa anggota keluarga Suidae, termasuk babi peliharaan dan babi hutan. Infeksi oleh Virus demam babi Afrika dapat menyebabkan hingga 100% morbiditas dan mortalitas pada kelompok babi dan sub-kelompok yang terkena dampak. Kerugian ekonomi yang besar bagi produsen. Pada tahun 2007, masuknya virus demam babi Afrika secara tidak sengaja ke Georgia menjadi penyebab wabah pertama demam babi Afrika di Eropa sejak awal tahun 1990an (Costard, 2013). Virus yang ditemukan diduga terjadi terutama di Afrika sub-Sahara diperkenalkan ke semenanjung Kaukasia melalui daging produk yang terkontaminasi virus yang berkerabat dekat dengan yang ditemukan di Madagaskar,

Mozambik atau Zambia (Rowland, 2008). Meskipun terdapat upaya untuk membendung virus, penyakit ini kemudahan telah menyebar ke lebih dari 20 negara di Eropa dan Asia (Mighell & Ward, 2021)

Demikian pula, dalam beberapa dekade terakhir telah terjadi peningkatan infeksi *Vibrio parahaemolyticus*, bakteri patogen yang ditemukan pada kerang dan penyebab utama penyakit terkait makanan laut secara global. Patogen ini endemik di kawasan Pasifik Barat Laut AS, namun baru-baru ini menyebar ke wilayah lain di AS, Eropa, dan Amerika Selatan (Abanto, 2020,; Martinez-Urtaza et al., 2017). Peningkatan infeksi *V. parahaemolyticus* yang mengkhawatirkan diperkirakan disebabkan oleh beberapa faktor yang terkait dengan perubahan global. Penurunan es laut telah meningkatkan lalu lintas kapal melalui Selat Bering, dengan kemungkinan kapal kargo mengangkut *V. parahaemolyticus*. Pada saat yang sama, peningkatan suhu laut mungkin telah meningkatkan kesesuaian lingkungan global untuk *V. parahaemolyticus* di lingkungan laut (Abanto, 2020). Yang terakhir, penyebaran patogen ini mungkin terjadi melalui peningkatan perdagangan kerang global, dengan bukti yang menunjukkan kemungkinan penyebaran melalui kerang Manila yang dibawa ke Spanyol dari Kanada (Martinez-Urtaza et al., 2017). Kombinasi dari kemungkinan-kemungkinan pendorong ini menunjukkan kompleksitas dalam memahami risiko penyakit menular di era perubahan global, dan perlunya mengeksplorasi perubahan yang terjadi secara bersamaan.

Penyebaran penyakit lintas batas melalui perdagangan hewan hidup baik legal maupun ilegal juga mempunyai konsekuensi penting bagi keanekaragaman hayati dalam skala global. Misalnya, perdagangan amfibi berkontribusi pada perluasan strain baru dari genus patogen jamur *Batrachochytrium* menjadi inang, sehingga menghancurkan populasi amfibi liar secara global (Fisher & Garner, 2020). Penyakit menular selain menghambat perdagangan juga mengakibatkan kerugian ekonomi tidak langsung pada masyarakat yang terkena dampaknya. Virus penyakit mulut dan

kuku merupakan alasan utama pembatasan perdagangan hewan ternak. Meskipun virus penyakit mulut dan kuku bersifat endemik di negara-negara tertentu di Asia dan Afrika, virus ini menyebabkan wabah pada populasi sehingga mengakibatkan kerugian ekonomi yang besar (Knight-Jones & Rushton, 2013). Meskipun perdagangan merupakan pendorong utama penyebaran patogen, produksi hewan pangan dalam sejarah baru-baru ini telah berubah menjadi sistem intensif berskala besar dengan kepadatan tinggi, populasi yang secara genetik homogen, ideal untuk kemunculan dan pemeliharaan pathogen (Robinson et al, 2017). Yang terpenting, sistem produksi hewan sering kali menjadi penghubung antara populasi liar dan manusia, dan berbagai peristiwa penyebaran virus telah terjadi pada hubungan ini. Virus Nipah menyebar dari kelelawar buah ke populasi babi domestik beberapa kali sebelum kemudian menginfeksi manusia (Pulliam et al, 2012). Varian pandemi virus influenza A pada manusia sering kali merupakan hasil dari *reassortment* antara virus manusia dan virus unggas, dengan unggas peliharaan dan burung liar dianggap memiliki peran (Rambaut et al., 2008; Li et al., 2010). Contoh non-virus adalah penyebaran patogen yang resisten terhadap antimikroba dari ternak ke manusia: penggunaan antibiotik secara intensif dalam sistem produksi ternak skala industri dan skala kecil untuk mendorong pertumbuhan dan mencegah infeksi telah dikaitkan dengan munculnya resistensi antibiotik pada manusia. Mengatasi kemunculan dan penyebaran penyakit pada sistem peternakan memerlukan pemikiran ulang mengenai produksi pangan hewani dan perdagangan hewan global.

3.2.4 Penyakit manusia yang berasal dari hewan peliharaan dan liar

Prinsip utama epidemiologi adalah bahwa meningkatnya kejadian penyakit menular bersesuaian dengan kepadatan inang sehingga terjadi peningkatan kontak antar inang yang mempercepat penyebaran penyakit menular (Parker et al, 2015). Oleh karena itu, peningkatan kepadatan manusia dan ternak dapat menyebabkan peningkatan penyakit menular

kecuali jika investasi dalam pencegahan penyakit cukup untuk mencegah peningkatan tersebut. Mengingat bahwa sebagian besar peningkatan kepadatan manusia dan ternak diperkirakan terjadi di negara-negara berkembang dimana pengawasan penyakit, pengendalian hama, sanitasi, dan perawatan medis dan kedokteran hewan masih terbatas, maka tidak ada alasan untuk berharap bahwa upaya pengendalian akan mampu mengimbangi peningkatan kepadatan manusia dan ternak (Despommier, 2018).

Ketika kepadatan inang dan penyakit menular meningkat, teori menyatakan bahwa virulensi parasit juga akan meningkat dalam kondisi tertentu. Ketika virulensi suatu patogen dikaitkan dengan generasi propagulnya di dalam tubuh (seperti yang terjadi pada banyak infeksi virus), hipotesis virulensi menengah menyatakan bahwa tingkat virulensi menengah memaksimalkan penularan parasit karena tingkat virulensi tersebut menyeimbangkan keturunan parasit (meningkatkan kebugaran parasit) dengan merugikan kelangsungan hidup inang karena patologi. Keseimbangan dalam *trade-off* ini menentukan persistensi parasit. Oleh karena itu, ketika kepadatan inang meningkat dan penularan menjadi lebih sering, dampak dari peningkatan virulensi menurun, sehingga menggeser kondisi optimal ke arah virulensi yang lebih tinggi. Konsekuensinya, bagi patogen yang mengalami *trade-off* virulensi ini, peningkatan kepadatan manusia dan ternak berpotensi meningkatkan kejadian dan tingkat keparahan penyakit menular (Despommier, 2018). Peningkatan konversi lahan menjadi produksi pertanian dan penggembalaan ternak diperkirakan akan menyebabkan peningkatan tingkat kontak manusia-ternak, manusia-hewan liar, dan ternak-hewan liar, sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya peristiwa 'limpahan', yang didefinisikan sebagai penularan patogen dari populasi inang reservoir ke populasi inang baru (Plowright et al. 2017).

Ketika ekosistem alami diubah menjadi lahan pertanian atau lahan peternakan, interaksi antara manusia, hewan peliharaan dan liar, dapat meningkat. Lebih jauh lagi, jika negara-negara berkembang mengikuti tren yang sama dengan negara-negara maju, maka permintaan daging mereka akan meningkat, sehingga

semakin meningkatkan tingkat kontak antara manusia-ternak, manusia-hewan liar, dan hewan ternak-hewan liar (Tilman, & Clark, 2014). Interaksi ini sangat penting karena 77% patogen ternak mampu menginfeksi banyak spesies inang, termasuk satwa liar dan manusia (Wiethoelter, et al 2015), dan berdasarkan perkiraan yang dipublikasikan pada tahun 2000an, lebih dari separuh patogen manusia yang diketahui saat ini atau awalnya bersifat zoonosis, (Wolfe, Dunavan & Diamond, 2007), begitu pula 60 -76% dari kejadian penyakit menular baru-baru ini (Taylor, Latham, & Woolhouse, 2001). Contoh-contoh kemunculan penyakit zoonosis yang baru-baru ini berdampak besar terhadap ternak, manusia, atau keduanya, yang sebagian besar mungkin disebabkan oleh sektor pertanian, adalah flu burung, salmonellosis (unggas dan manusia), penyakit tetelo (unggas), flu babi, virus Nipah (babi dan manusia), sindrom pernafasan Timur Tengah (unta dan manusia), tuberkulosis sapi, brucellosis (kebanyakan sapi dan manusia), rabies (anjing dan manusia), virus West Nile, sindrom pernafasan akut parah (SARS) dan Ebola (manusia) (Plowright, et al. 2017). Perubahan penggunaan lahan, industri makanan, dan industri pertanian sebagai pendorong munculnya penyakit pada manusia. Analisis ini mengungkapkan bahwa penyebab pertanian berhubungan dengan 25% dari seluruh penyakit dan hampir 50% penyakit zoonosis yang muncul pada manusia sejak tahun 1940. Nilai-nilai ini bahkan lebih tinggi jika kita memasukkan penggunaan agen antimikroba sebagai pemicu munculnya penyakit pada manusia di bidang pertanian, mengingat penggunaan antibiotik di bidang pertanian melebihi penggunaan medis di negara maju, yakni hampir sembilan berbanding satu (Landers et al 2018). Beberapa faktor telah terwujud yang memfasilitasi terjadinya limpahan penyakit (Plowright, R. K. et al. 2017). Limpahan tampaknya merupakan fungsi dari frekuensi, durasi dan keintiman interaksi antara reservoir dan populasi inang baru (Lloyd-Smith, J. O. et al. 2009). Misalnya, influenza diyakini menular dari kuda ke manusia segera setelah kuda dijinakkan dan kemudian menular ke manusia melalui hewan peliharaan lainnya, seperti unggas dan babi (Worobey et al 2014). Demikian pula, ketika kalkun liar dicegah untuk berinteraksi dengan burung liar dan ketika interaksi antara

babi peliharaan dan kelelawar buah liar dikurangi, kejadian virus influenza dan Nipah menurun, yang menunjukkan bahwa sumber penularan ini berasal dari hewan liar (Pulliam, et al. 2011; Alexander, 2000). Di Afrika Sub-Sahara, tingginya frekuensi dan durasi interaksi lingkungan antara berbagai spesies cacing *Schistosoma* yang menginfeksi manusia dan ternak tidak diragukan lagi telah memfasilitasi hibridisasi mereka, dan schistosomes hibrida ini lebih ganas terhadap manusia dibandingkan spesies non-hibrida (Huyse, et al. 2009). Faktor-faktor yang terkait dengan penyebaran dan munculnya penyakit ini dapat ditargetkan untuk mengurangi potensi penularan seiring dengan peningkatan populasi manusia dan produktivitas pertanian.

3.3 Penyakit Zoonosis di Indonesia

Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk tertinggi di Asia Tenggara dan mempunyai kepadatan populasi ternak yang tinggi. Dampak perubahan iklim juga terjadi di Indonesia dimana kenaikan suhu lingkungan berkisar antara 1-1,5°C. Suhu yang semakin tinggi akan mempengaruhi penyebaran vektor dan reservoir. Dengan demikian, peternakan di Indonesia belum terbebas dari penyakit *Surra* yang disebabkan oleh *Trypanosoma evansi*. Kondisi ini berpotensi menimbulkan perkembangan *Trypanosoma* sp.. Vektor *Trypanosoma* adalah kutu dan tikus yang populasinya cukup tinggi di Indonesia. *Trypanosoma* pada manusia juga terjadi pada tahun 2014 di Indonesia, namun gejala klinisnya tidak spesifik. *Trypanosoma* berpeluang menjadi penyakit zoonosis *emerging* di Indonesia (Novita, 2019). Pengelolaan usaha ternak yang belum dilakukan secara baik dan benar mengakibatkan produktivitas yang masih rendah dan kejadian penyakit hewan menular (termasuk penyakit zoonosis) yang merugikan bagi petani dan ancaman terhadap kesehatan masyarakat. Beberapa penyakit zoonosis penting yaitu Anthrax, *Brucellosis*, dan Rabies. Penyakit anthrax dan rabies telah mengakibatkan korban manusia, dan terbanyak terjadi pada kasus rabies (Hau, Pohan, & Nulik, 2015).

Epidemiologi zoonosis di Indonesia diantaranya yaitu :

1. zoonosis bakteri terdiri atas penyakit antraks, *Bruselosis*, *Escherichia coli*, *Leptospirosis*, *Listeriosis*, *Paratuberkulosis*, *Salmonellosis* dan *Tuberkulosis*
2. zoonosis virus terdiri atas Avian influenza, Chikungunya, Japanese encephalitis, penyakit Orf, penyakit mulut dan kuku, dan rabies
3. zoonosis cacing terdiri atas filariasis, *Cutaneous larva migrans*, Taeniasis/Sistiserkosis, trikinosis
4. Zoonosis Protozoa terdiri atas malaria dan toksoplasmosis
5. Zoonosis ektoparasit terdiri atas penyakit scabies.

Adapun tiga hal yang saling terkait mungkin memperburuk munculnya risiko zoonosis di dunia yaitu pertumbuhan pendapatan, urbanisasi, dan globalisasi. Pertumbuhan pendapatan dikaitkan dengan peningkatan konsumsi protein hewani di negara-negara berkembang, yang meningkatkan konversi lahan liar menjadi produksi peternakan, dan dengan demikian meningkatkan kemungkinan munculnya penyakit zoonosis. Urbanisasi menyiratkan semakin besarnya konsentrasi dan keterhubungan masyarakat, sehingga meningkatkan kecepatan penyebaran infeksi baru. Globalisasi yang semakin eratnya integrasi ekonomi dunia telah memfasilitasi penyebaran patogen antar negara melalui pertumbuhan perdagangan dan perjalanan. Daerah dengan risiko tinggi munculnya dan penyebaran penyakit menular adalah dimana ketiga tren tersebut bersinggungan dengan kondisi sosio-ekologis yang merupakan predisposisi termasuk adanya reservoir penyakit liar, praktik pertanian yang meningkatkan kontak antara satwa liar dan ternak, dan praktik budaya yang meningkatkan kontak antara manusia dan satwa liar dan ternak (Wu et al. 2017).

Pencegahan dan pengendalian patogen endemik di dalam dan di antara peternakan sering kali bergantung pada penerapan praktik pengelolaan terbaik. Namun, para petani sering kali tidak menerapkan langkah-langkah yang direkomendasikan atau tidak mengikuti program pengendalian penyakit secara sukarela. Menurut Ritter et al. (2017) bahwa hal tersebut menunjukkan bahwa diperlukan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai

pengaruh dan alat penyuluhan yang mempengaruhi keputusan pengelolaan petani. Memberikan argumen yang rasional namun universal kepada mereka mungkin tidak selalu cukup untuk memotivasi perubahan di lahan pertanian. Penerapan praktik pengelolaan yang direkomendasikan akan lebih mungkin dilakukan jika petani mengakui adanya masalah dan bertanggung jawab untuk mengambil tindakan. Kelayakan dan efektivitas strategi pengelolaan yang direkomendasikan serta pengetahuan teknis yang memadai semakin meningkatkan kemungkinan penerapan yang memadai. Petani juga akan mempertimbangkan keuntungan yang diharapkan dari perubahan yang diusulkan dan kerugian yang diharapkan, dan pertimbangan ini sering kali mencakup faktor internal seperti kebanggaan atau keinginan untuk menyesuaikan diri dengan standar yang dirasakan. Alat penyuluhan dan rujukan sosial petani (misalnya dokter hewan, rekan sejawat) tidak hanya memberikan informasi teknis tetapi juga mempengaruhi standar-standar ini. Meskipun media massa mempunyai potensi untuk menyampaikan informasi kepada khalayak luas, pendekatan yang lebih pribadi seperti pembelajaran kelompok partisipatif atau komunikasi individu dengan penasihat pertanian dapat memungkinkan penyesuaian rekomendasi dengan situasi petani. Pendekatan yang menarik bagi motivator internal petani atau yang secara tidak sadar memunculkan perilaku yang diinginkan akan meningkatkan keberhasilan intervensi. Kolaborasi antar pemangku kepentingan, dibantu oleh ilmuwan sosial dan pakar komunikasi, diperlukan untuk memberikan konteks yang memfasilitasi perubahan di lahan pertanian dan mentransfer pesan yang konsisten ke seluruh alat penyuluhan dengan cara yang paling efektif. Upaya sosialisasi pandemi zoonosis mempunyai peran penting dalam mencegah penularan dan penyebaran penyakit (Pascapurnama 2018). Sifat penyakit zoonosis yang kompleks dan terbatasnya sumber daya di negara-negara berkembang merupakan pengingat bahwa perlunya penerapan Global One Health di wilayah dengan sumber daya rendah sangatlah penting (Gebreyes, et al 2014).

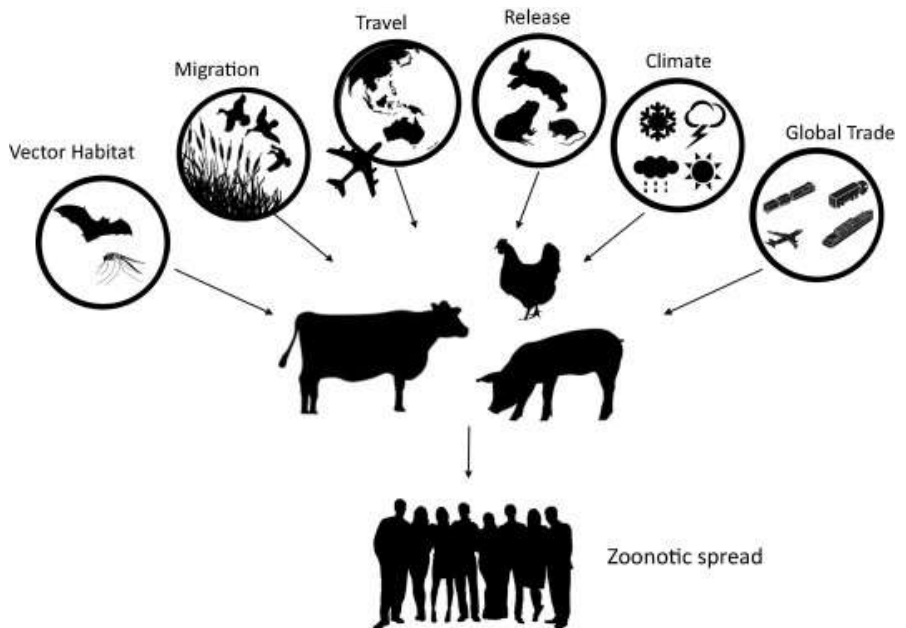
3.3.1 Mencegah penyebaran penyakit hewan ke manusia

Mempraktikkan kebersihan pribadi yang baik, mengenakan pakaian pelindung, menjaga kesehatan hewan dan melakukan perawatan pencegahan dan vaksinasi jika diperlukan dapat meminimalkan risiko beberapa penyakit yang ditularkan melalui hewan yang menginfeksi manusia. Jika bekerja dengan atau menangani hewan, harus mengambil tindakan pencegahan untuk mengurangi risiko infeksi

1. Jaga kesehatan hewan
 - a. Minimalkan paparan terhadap hewan lain yang mungkin tertular (misalnya, minimalkan paparan anjing peliharaan terhadap babi liar yang mungkin tertular *Brucella suis*. Anjing dapat tertular dan menjadi sumber penularan bagi manusia).
 - b. Vaksinasi ternak terhadap penyakit zoonosis yang diketahui, seperti antraks dan leptospirosis pada sapi, serta virus Hendra (HeV) pada kuda.
2. Pastikan mendapatkan vaksinasi penyakit zoonosis jika vaksin tersedia dan jika berisiko tertular penyakit tersebut, seperti *Q-Fever*
3. Kenakan alat pelindung diri (APD) jika memungkinkan, dan tutupi luka dengan balutan kedap air. Lindungi dari nyamuk dan serangga penggigit lainnya yang dapat menularkan penyakit dengan:
 - a. Menutupi diri dengan kemeja lengan panjang yang longgar dan celana panjang saat berada di luar ruangan
 - b. Mengoleskan obat nyamuk pada kulit yang terbuka.
4. Disinfeksi atau cuci tangan secara teratur terutama sebelum makan, menyiapkan makanan, atau merokok.
5. Pastikan mencari pertolongan medis jika tidak sehat.

Peningkatan perjalanan global, perdagangan dan urbanisasi menyebabkan lebih besarnya kejadian penyakit zoonosis, dan peternakan sering kali menjadi faktor utama penyebaran penyakit ke manusia (Gambar 3.3). Oleh karena itu, strategi vaksinasi ternak, sebagai bagian dari solusi biosekuriti yang lebih luas, sangat penting bagi kesehatan hewan dan manusia (Layton, Choudhary, & Bean,

2017). Yang penting, pendekatan yang membatasi agen penular pada ternak, tidak hanya melindungi nilai ekonominya namun juga mengurangi potensi penyebaran infeksi pada manusia. Solusi biosekuriti terhadap kesehatan ternak dapat dilakukan dalam berbagai bentuk dan umumnya lebih menekankan pada pencegahan infeksi dibandingkan pengobatan. Oleh karena itu, vaksinasi dapat menjadi komponen pendekatan strategis yang efektif, terutama karena keekonomian produksi menentukan penggunaan solusi yang hemat biaya. Selain itu, dalam lingkungan global yang terus berkembang, terdapat kebutuhan akan vaksin yang mengakomodasi kelompok sosial ekonomi rendah dan penyakit zoonosis yang berkembang pesat.



Gambar 3.3. Memutus rantai zoonosis melalui biosekuriti pada ternak
(Sumber: Layton, Choudhary, & Bean, 2017)

DAFTAR PUSTAKA

- Aungkulanon, S., McCarron, M., Lertiendumrong, J., Olsen, S.J. and Bundhamcharoen, K., 2012. Infectious disease mortality rates, Thailand, 1958–2009. *Emerging Infectious Diseases*, 18(11), p.1794.
- Abanto, M., Gavilan, R.G., Baker-Austin, C., Gonzalez-Escalona, N. and Martinez-Urtaza, J., 2020. Global expansion of Pacific Northwest *Vibrio parahaemolyticus* sequence type 36. *Emerging Infectious Diseases*, 26(2), p.323.
- Aw, D., Silva, A. B. & Palmer, D. B. 2007. Immunosenescence: emerging challenges for an ageing population. *Immunology* 120, 435–446
- Alexander, D.J., 2000. A review of avian influenza in different bird species. *Veterinary microbiology*, 74(1-2), pp.3-13.
- Baker, R.E., Mahmud, A.S., Miller, I.F., Rajeev, M., Rasambainarivo, F., Rice, B.L., Takahashi, S., Tatem, A.J., Wagner, C.E., Wang, L.F. and Wesolowski, A., 2022. Infectious disease in an era of global change. *Nature Reviews Microbiology*, 20(4), pp.193-205.
- Brook, C.E., Boots, M., Chandran, K., Dobson, A.P., Drosten, C., Graham, A.L., Grenfell, B.T., Müller, M.A., Ng, M., Wang, L.F. and van Leeuwen, A., 2020. Accelerated viral dynamics in bat cell lines, with implications for zoonotic emergence. *Elife*, 9, p.e48401.
- Brashares, J.S., Arcese, P., Sam, M.K., Coppolillo, P.B., Sinclair, A.R. and Balmford, A., 2004. Bushmeat hunting, wildlife declines, and fish supply in West Africa. *Science*, 306(5699), pp.1180-1183.
- Barkema, H. W. 2017. Invited review: Determinants of farmers' adoption of management-based strategies for infectious disease prevention and control. *Journal of Dairy Science*, 100(5), 3329-3347.
- Costard, S., Mur, L., Lubroth, J., Sanchez-Vizcaino, J.M. and Pfeiffer, D.U., 2013. Epidemiology of African swine fever virus. *Virus research*, 173(1), pp.191-197.
- Despommier, D., Griffin, D., Gwadz, R. G., Hotez, P. & Knirsch, C. 2018. *Parasitic Diseases* 6th edn (Parasites Without Borders).

- Engels D, Savioli L. 2006. Reconsidering the underestimated burden caused by neglected tropical diseases. *Trends Parasitol* ; 22: 363-6.
- Fisher, M. C. & Garner, T. W. J. 2020. Chytrid fungi and global amphibian declines. *Nat. Rev. Microbiol.* 18, 332–343.
- Fraser EDG. 2003. Social vulnerability and ecological fragility: building bridges between social and natural sciences using the Irish Potato Famine as a case study. *Conserv Ecol*; 7: 9
- Field, H. et al. 2001. The natural history of Hendra and Nipah viruses. *Microbes Infect.* 3, 307–314
- Gebreyes, W. A., Dupouy-Camet, J., Newport, M. J., Oliveira, C. J., Schlesinger, L. S., Saif, Y. M., ... & King, L. J. 2014. The global one health paradigm: challenges and opportunities for tackling infectious diseases at the human, animal, and environment interface in low-resource settings. *PLoS neglected tropical diseases*, 8(11), e3257.
- Gubler, D. J. 2011. Dengue, urbanization and globalization: the unholy trinity of the 21st century. *Trop. Med. Health* 39, S3–S11
- Hau, D. K., Pohan, A., & Nulik, J. 2015. Penyakit-Penyakit Zoonosis di Nusa Tenggara Timur. *Lokakarya Nasional Penyakit Zoonosis. Balai Pengkajian Teknologi (BPTP) Nusa Tenggara Timur.*
- Huyse, T. et al. 2009. Bidirectional introgressive hybridization between a cattle and human schistosome species. *PLoS Pathog.* 5, e1000571
- Jones, B.A., Grace, D., Kock, R., Alonso, S., Rushton, J., Said, M.Y., McKeever, D., Mutua, F., Young, J., McDermott, J. and Pfeiffer, D.U., 2013. Zoonosis emergence linked to agricultural intensification and environmental change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(21), pp.8399-8404.
- Johnson NP, Mueller J. 2002. Updating the accounts: global mortality of the 1918/1920 “Spanish” influenza pandemic. *Bull Hist Med*; 76: 105-115.
- Knight-Jones, T. J. D. & Rushton, J. 2013. The economic impacts of foot and mouth disease - what are they, how big are they and where do they occur? *Prev. Vet. Med.* 112, 161–173

- Lloyd-Smith, J. O. et al. 2009. Epidemic dynamics at the human-animal interface. *Science* 326, 1362–1367
- Li, Y. et al. 2014. Urbanization increases *Aedes albopictus* larval habitats and accelerates mosquito development and survivorship. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 8, e3301
- Lancelot, R. et al. 2017. Drivers of Rift Valley fever epidemics in Madagascar. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 114, 938–943
- Layton, D.S., Choudhary, A. and Bean, A.G., 2017. Breaking the chain of zoonoses through biosecurity in livestock. *Vaccine*, 35(44), pp.5967-5973.
- Laxminarayan, R. et al. 2013. Antibiotic resistance-the need for global solutions. *Lancet Infect. Dis.* 13, 1057–1098
- Lloyd-Smith, J. O. et al. 2009. Epidemic dynamics at the human-animal interface. *Science* 326, 1362–1367
- Li, Y., Shi, J., Zhong, G., Deng, G., Tian, G., Ge, J., Zeng, X., Song, J., Zhao, D., Liu, L. and Jiang, Y., 2010. Continued evolution of H5N1 influenza viruses in wild birds, domestic poultry, and humans in China from 2004 to 2009. *Journal of virology*, 84(17), pp.8389-8397.
- Mourant, J. R., Fenimore, P. W., Manore, C. A., & McMahon, B. H. 2018. Decision support for mitigation of livestock disease: rinderpest as a case study. *Frontiers in veterinary science*, 182.
- Mighell, E. and Ward, M.P., 2021. African swine fever spread across Asia, 2018–2019. *Transboundary and emerging diseases*, 68(5), pp.2722-2732.
- Martinez-Urtaza, J., Van Aerle, R., Abanto, M., Haendiges, J., Myers, R.A., Trinanes, J., Baker-Austin, C. and Gonzalez-Escalona, N., 2017. Genomic variation and evolution of *Vibrio parahaemolyticus* ST36 over the course of a transcontinental epidemic expansion. *MBio*, 8(6), pp.10-1128.
- Martin, G. et al. 2018. Climate change could increase the geographic extent of Hendra virus spillover risk. *Ecohealth* 15, 509–525
- Novita, R. 2019. Kajian potensi tripanosomiasis sebagai penyakit zoonosis emerging di Indonesia. *Jurnal Vektor Penyakit*, 13(1), 21-32.

- Nikolich-Zugich, J. 2018. The twilight of immunity: emerging concepts in aging of the immune system. *Nat. Immunol.* 19, 10–19
- Olsen, B. et al. 2006. Global patterns of influenza A virus in wild birds. *Science* 312, 384–388. 118.
- Parashar, U.D., Sunn, L.M., Ong, F., Mounts, A.W., Arif, M.T., Ksiazek, T.G., Kamaluddin, M.A., Mustafa, A.N., Kaur, H., Ding, L.M. and Othman, G., 2000. Case-control study of risk factors for human infection with a new zoonotic paramyxovirus, Nipah virus, during a 1998–1999 outbreak of severe encephalitis in Malaysia. *The Journal of infectious diseases*, 181(5), pp.1755–1759.
- Parashar, U.D., Sunn, L.M., Ong, F., Mounts, A.W., Arif, M.T., Ksiazek, T.G., Kamaluddin, M.A., Mustafa, A.N., Kaur, H., Ding, L.M. and Othman, G., 2000. Case-control study of risk factors for human infection with a new zoonotic paramyxovirus, Nipah virus, during a 1998–1999 outbreak of severe encephalitis in Malaysia. *The Journal of infectious diseases*, 181(5), pp.1755–1759.
- Pitzer, V.E., Aguas, R., Riley, S., Loeffen, W.L., Wood, J.L. and Grenfell, B.T., 2016. High turnover drives prolonged persistence of influenza in managed pig herds. *Journal of The Royal Society Interface*, 13(119), p.20160138.
- Pascapurnama, D. N., Murakami, A., Chagan-Yasutan, H., Hattori, T., Sasaki, H., & Egawa, S. 2018. Integrated health education in disaster risk reduction: Lesson learned from disease outbreak following natural disasters in Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 29, 94–102.
- Pulliam, J. R. et al. 2011. Agricultural intensification, priming for persistence and the emergence of Nipah virus: a lethal bat-borne zoonosis. *J. R. Soc. Interface* 9, 89–101
- Parker, I. M. et al. 2015. Phylogenetic structure and host abundance drive disease pressure in communities. *Nature* 520, 542–544
- Plowright, R. K. et al. 2017. Pathways to zoonotic spillover. *Nat. Rev. Microbiol.* 15, 502–510

- Pulliam, J. R. C. et al. 2012. Agricultural intensification, priming for persistence and the emergence of Nipah virus: a lethal bat-borne zoonosis. *J. R. Soc. Interface* 9, 89–101
- Patz JA, ConfalonieriUEC, Amerasinghe FP, Chua KB, Daszak P, Hyatt AD. 2005. Human health: ecosystem regulation of infectious diseases. In: Hassan R, Scholes R, Ash N, eds. Millennium ecosystem assessment. Condition and Trends Working Group. Ecosystems and human well-being: current state and trends. Vol. 1: Findings of the Condition and Trends Working Group. Washington, DC: Island Press; pp. 391-415.
- Perrings, C. 2016. Options for managing the infectious animal and plant disease risks of international trade. *Food Security* 8, 27–35
- Rose, N. H. et al. 2020. Climate and Urbanization drive mosquito preference for humans. *Curr. Biol.* 30, 3570–3579.e6
- Rambaut, A. et al. 2008. The genomic and epidemiological dynamics of human influenza A virus. *Nature* 453, 615–619
- Roeder, P., Mariner, J. & Kock, R. 2013. Rinderpest: the veterinary perspective on eradication. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 368, 20120139
- Rimoin, A. W. et al. 2010. Major increase in human monkeypox incidence 30 years after smallpox vaccination campaigns cease in the Democratic Republic of Congo. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 107, 16262–16267
- Rowlands, R. J. et al. 2008. African swine fever virus isolate, Georgia, 2007. *Emerg. Infect. Dis.* 14, 1870–1874
- Robinson, T. P. et al. 2017. Antibiotic resistance: mitigation opportunities in livestock sector development. *Animal* 11, 1–3
- Ritter, C., Jansen, J., Roche, S., Kelton, D.F., Adams, C.L., Orsel, K., Erskine, R.J., Benedictus, G., Lam, T.J. and Barkema, H.W., 2017. Invited review: Determinants of farmers' adoption of management-based strategies for infectious disease prevention and control. *Journal of Dairy Science*, 100(5), pp.3329-3347.
- Smith, K. F. et al. Ecology. 2009. Reducing the risks of the wildlife trade. *Science* 324, 594–595

- Tatem, A. J., Gething, P. W., Smith, D. L. & Hay, S. I. 2013. Urbanization and the global malaria recession. *Malar. J.* 12, 133.
- Tilman, D. & Clark, M. 2014. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature* 515, 518–522
- Taylor, L. H., Latham, S. M. & Woolhouse, M. E. J. 2001. Risk factors for human disease emergence. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B* 356, 983–989
- Talisuna, A.O., Bloland, P. and d'Alessandro, U., 2004. History, dynamics, and public health importance of malaria parasite resistance. *Clinical microbiology reviews*, 17(1), pp.235-254.
- Wu, T., Perrings, C., Kinzig, A., Collins, J. P., Minter, B. A., & Daszak, P. 2017. Economic growth, urbanization, globalization, and the risks of emerging infectious diseases in China: A review. *Ambio*, 46, 18-29.
- Worobey, M., Han, G.-Z. & Rambaut, A. 2014. A synchronized global sweep of the internal genes of modern avian influenza virus. *Nature* 508, 254–257
- Wiethoelter, A. K., Beltrán-Alcrudo, D., Kock, R. & Mor, S. M. 2015. Global trends in infectious diseases at the wildlife–livestock interface. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 112, 9662–9667
- Wolfe, N. D., Dunavan, C. P. & Diamond, J. 2007. Origins of major human infectious diseases. *Nature* 447, 279–283
- Van Boeckel, T. et al. 2020. Global trends in antimicrobial resistance in animals in low-and middle-income countries. *Int. J. Infect. Dis.* 101, 19
- Yuen, K. Y. et al. 2021. Hendra virus: epidemiology dynamics in relation to climate change, diagnostic tests and control measures. *One Health* 12, 100207

BAB 4

HEWAN DAN INVASI BIOLOGIS

Oleh Faridah Tsuraya

4.1 Pendahuluan

Ikan-ikan asing banyak didatangkan dari luar negeri ke Indonesia, seperti ikan mas koki, cupang siam, guppy, arwana brazil dan piranha. Ikan asing tersebut dimasukkan atau diintroduksi ke Indonesia dengan berbagai tujuan, yaitu untuk budidaya, hiasan, dan komoditas perdagangan lainnya. Selain itu, beberapa ikan introduksi juga digunakan untuk kepentingan konsumsi, seperti patin bangkok, lele dumbo, nila, ikan mas, mujair, dan bawal air tawar. Ikan-ikan asing yang diintroduksi relatif lebih cepat tumbuh dan siap panen jika dibandingkan dengan ikan *native* atau asli Indonesia. Namun, ternyata kehadiran ikan-ikan yang diintroduksi dapat memberikan pengaruh negatif jika dilepas liarkan ke alam, yaitu dengan mengancam keberadaan ikan asli dan menyebabkan perubahan komposisi ikan yang ada di suatu perairan. Beberapa ikan tersebut ada juga yang merupakan spesies invasif karena dapat berkembang dengan cepat di alam dan bersifat predator terhadap ikan lain (Wahyudewantoro and Rachmatika, 2016).

Selain ikan yang menjadi salah satu spesies yang sering diintroduksi secara sengaja, terdapat beberapa hewan lain yang secara tidak sengaja terintroduksi ke suatu daerah melalui transportasi laut, seperti kerang zebra (*Dreissena polymorpha*) yang dapat menjadi spesies invasif dan mengancam biodiversitas. Kerang zebra (*Dreissena polymorpha*) adalah molluska yang berasal dari perairan tawar di Eurasia. Kerang zebra sampai ke Danau Great pada tahun 1980 an melalui air balas yang dibawa oleh kapal besar dari Eropa. Kemudian kerang tersebut menyebar secara cepat melalui daerah Danau Great dan menuju ke sungai drainase di Missisipi Timur. Kerang ini juga ditemukan di Texas, Colorado, Utah, Nevada, dan California. Dampak dari adanya invasi kerang zebra adalah kerang ini berkompetisi dengan memakan alga yang

dimakan oleh spesies asli. Spesies ini telah diatasi dengan beberapa pembangkit listrik yang menghabiskan jutaan dolar karena telah menyumbat saluran air (Jackson, 2008).

Spesies invasif memiliki pengaruh yang signifikan pada lingkungan, dengan mengancam biodiversitas, menyebabkan penurunan kualitas lingkungan, dan mengurangi keragaman dan kelimpahan spesies. Salah satu cara untuk menanggulangi adanya spesies invasif adalah dengan melakukan pencegahan, deteksi, kontrol, dan restorasi habitat.

4.2 Invasi Biologis

Invasi biologis merupakan proses masuknya spesies ke daerah atau lokasi yang baru secara sengaja maupun tidak sengaja melalui transportasi atau pemindahan oleh manusia. Spesies yang diintroduksi dapat berkembang biak dan bertahan dengan baik, kemudian dapat mempengaruhi lingkungan dengan menjadi spesies invasif (Scanes, 2017). Spesies invasif merupakan spesies *nonnative* (bukan spesies asli) atau disebut juga non *indigenous*, eksotik, atau spesies *alien*. Spesies invasif baik secara sengaja maupun tidak sengaja diintroduksi atau dibawa ke habitat yang baru oleh manusia dimana mereka dapat hidup dan menyebar dengan cepat melebihi jumlah yang diintroduksi (Blackburn et al., 2011).

Beberapa spesies *nonnative* yang diintroduksi sebenarnya sulit untuk bertahan, populasinya tidak mudah menyebar dengan cepat dan jarang memberikan dampak yang menyolok bagi lingkungan. Namun, beberapa spesies *nonnative* yang diintroduksi juga dapat tumbuh dengan cepat dan berubah menjadi spesies invasif. Spesies ini akan menyebar secara agresif dan berdampak sangat besar terhadap lingkungan. Spesies invasif menjadi permasalahan global yang dapat mengancam biodiversitas asli (*native*), ekosistem yang sehat, sumber daya alam, ekonomi daerah, dan kesehatan manusia. Spesies invasif juga merupakan bagian dari kajian ilmu untuk manajemen dan konservasi yang menjadi permasalahan global yang penting dan menantang untuk dipelajari (Scanes, 2017). Beberapa negara telah melaporkan beberapa spesies *nonnative* yang ditunjukkan oleh Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Proporsi (%) species non native yang bertahan di beberapa negara di Dunia

Daerah	Ikan	Burung	Mamalia
Eropa	10	3	19
Rusia	7	n/a	17
Afrika Selatan	11	1	12
Amerika Utara	8	4	19
Amerika Selatan	<1	<1	4
Australia	13	6	14
Kepulauan			
Puerto Rico	71	35	40
Bahamas	14	9	n/a
Bermuda	n/a	30	50
Hawaii	88	33	89
Madagascar	17	2	5
Japan	15	2	14
Zew Zealand	38	18	40

Sumber : (Scanes, 2017)

4.2.1 Hewan Invasif

Terdapat beberapa hewan yang termasuk ke dalam spesies invasif, seperti ikan mas koki (*Hypophthalmichthys nobilis*), ikan mas perak (*Hypophthalmichthys molitrix*), ikan mas hitam (*Mylopharyngodon pieces*), dan ikan koan atau *grass carp* (*Ctenopharyngodon idella*) yang merupakan ikan asli dari China, Rusia Timur, dan Vietnam Utara. Namun, ikan-ikan tersebut dibawa ke Amerika Serikat untuk membersihkan alga pada fasilitas akuakultur dan kolam lele. Ikan-ikan tersebut lepas dan banyak ditemukan di Sungai Missouri, Amerika Utara. Spesies asli atau *native*, seperti ikan dayung (*Polyodon spathula*) akan berkompetisi dalam hal makanan dengan ikan mas koki dan ikan mas perak karena ikan dayung memakan plankton lebih lambat daripada ikan mas. Ikan mas Asia mampu memakan plankton hingga 10% dari berat badannya setia hari. Nafsu makan ikan mas dan ukurannya yang besar membuat spesies-spesies ini mudah mengalahkan ikan asli untuk mendapatkan makanan. Ikan mas juga dapat dengan

mudah bertahan di lingkungan yang buruk sehingga dapat dengan mudah berkembang. Oleh karena itu, ikan mas lebih banyak ditemukan di Sungai Missouri dibandingkan dengan ikan dayung. Ikan mas juga berbahaya bagi pelaut karena kemampuannya melompat ketika dikejurkan oleh motor perahu. Nelayan ada yang mengalami luka parah karena ikan mas yang melompat ke udara (Krentz, 2004).



Gambar 4.1. Ikan mas yang melompat di udara
(Sumber : <https://storymaps.arcgis.com/>)

Selain ikan mas, terdapat spesies invasif lainnya yaitu, ular cokelat pohon / Brown Tree Snakes (*Boiga irregularis*) yang berasal dari Kepulauan Solomon, New Guinea, dan Australia Utara. Ular cokelat pohon kemudian diintroduksi ke Guam, sebuah pulau di Pasifik Selatan pada akhir tahun 1940-an melalui kargo yang tersembunyi. Populasi Ular tersebut di Guam sekitar 50 ular per hektar. Populasinya menjadi tidak terkendali karena tidak terkontrol oleh predator, penyakit, dan kompetitor. Ular ini memakan burung, telur katak, dan hewan pengerat, sehingga hewan-hewan tersebut menjadi berkurang karena ular cokelat pohon yang berkembang dengan cepat. Dampak ekologi yang disebabkan oleh ular cokelat pohon adalah hilangnya spesies burung dan kadal yang memakan serangga yang juga menyebabkan

melimpahnya spesies serangga yang mempengaruhi produksi tanaman pangan (Boback *et al.*, 2022).



Gambar 4.2. Ular cokelat pohon
(Sumber : <https://www.smithsonianmag.com/>)

Spesies invasif lainnya adalah nutria rat (*Myocastor coypus*). Nutria adalah hewan pengerat asli Amerika Selatan yang diintroduksi ke Amerika Serikat pada tahun 1889 untuk diambil bulunya. Kemudian Nutria dilepaskan ke alam liar ketika pada peternak gagal untuk membudidayakannya. Nutria tersebut menjadi hama yang memakan rumput-rumput tinggi dan semak belukar. Nutria juga merusak vegetasi perairan, tanaman pangan, dan area lahan basah. Nutria merusak jaring-jaring makanan dan habitat bagi organisme di daerah tersebut karena pertumbuhan populasinya yang tidak terkontrol (Majmudar, 2018).



Gambar 4.3. Tikus Pengerat Nutria (*Myocastor coypus*)
(Sumber : <https://www.livescience.com/nutria.html>)

Kemudian, spesies invasif yang lain adalah Ular pyton Burmese (*Phyton bivittatus*) yang merupakan spesies invasif di Amerika. Ular tersebut merupakan ular berbisa terpanjang yang berasal dari Asia Selatan. Ular ini dapat ditemukan di Everglades Florida. Ular pyton Burmese awalnya merupakan ular yang dipelihara namun pemiliknya melepaskannya ke alam liar. Ular pyton Burma memiliki kemampuan untuk memakan mangsa yang jauh lebih besar dengan cara membuka rahangnya, seperti halnya Aligator Amerika. Dalam ekosistem, ular tersebut menjadi Apex Predator atau predator tingkat tertinggi sehingga mempengaruhi rantai makanan dan keberadaan hewan predator lainnya (Harvey, 2008).



Gambar 4.4. Ular pyton Burmese (*Phyton bivittatus*)
(Sumber : <https://ohiostate.pressbooks.pub/>)

Species invasif selanjutnya adalah ikan gabus / snakehead (*Channa argus*) yang merupakan ikan air tawar yang asli dari Asia Timur (Rusia, China, dan Korea Utara). Ikan tersebut dapat ditemukan di Amerika, khususnya di California pada tahun 1977 dan kemudian di Maryland pada tahun 2002. Kemungkinan ikan tersebut diintroduksi melalui pasar ikan. Kemudian ikan ini dapat hidup dan menyebar dalam jarak yang jauh karena kemampuannya untuk mencari habitat atau pasangan. Ikan ini merupakan predator yang rakus yang dapat menghirup udara dan dapat hidup 4 hari tanpa air. Ikan spesies ini dapat dengan mudah memperluas wilayah

jelajahnya dan menjadi ancaman bagi spesies lain (Saylor et al., 2012).



Gambar 4.5. Ikan gabus / snakehead (*Channa argus*)
(Sumber : <https://www.icalofish.com/>)

4.2.2 Pengelolaan Spesies Invasif

Terdapat empat pendekatan utama dalam mengelola spesies invasif, yaitu dengan pencegahan, deteksi, kontrol, dan restorasi. Untuk pencegahan masuknya species invasif, perlu diketahui bagaimana species invasif ini diangkut dan diperkenalkan. Biasanya species invasif masuk melalui pengenalan air ballast, biofouling dari lambung kapal, dan dari pelepasan hewan yang dipelihara ke alam bebas. Beberapa aturan dan kebijakan dari negara atau suatu daerah tertentu juga telah diberlakukan untuk mengurangi resiko adanya introduksi dari species invasif. Pemantauan atau deteksi suatu ekosistem juga perlu dilakukan secara tepat dan sistematis untuk mengetahui adanya introduksi dari suatu spesies sehingga didapatkan respon yang cepat dalam menghadapi spesies invasi. Kemudian dilakukan restorasi atau pemulihan ekosistem yang membutuhkan banyak tenaga dan mahal, sehingga hanya dilaksanakan jika ancaman dari suatu species invasif telah berkurang (Scanes, 2017).

Selain dilakukan pencegahan, juga dilakukan pemusnahan spesies invasif yang dapat mengembalikan spesies asli yang sebelumnya telah terancam. Beberapa kondisi agar pemusnahan spesies invasif dapat berhasil dilakukan adalah target spesies invasif harus dideteksi pada kepadatan yang rendah, spesies invasif dipastikan dapat dikontrol, sumber daya manusia harus memadai,

pengelola mendapat otoritas dan dukungan publik untuk mengambil langkah-langkah yang diperlukan, dan re-invasi atau adanya invasi ulang harus dicegah. Namun, pemberantasan spesies invasif juga memiliki dampak negatif. Ketika banyak spesies invasif yang hidup, pada jaring-jaring makanan, penghapusan predator atau herbivora dapat menyebabkan perkembangbiakan invasif yang lain yang sebelumnya dikendalikan oleh spesies yang dimusnahkan. Contohnya adalah pemberantasan kucing liar dari Pulau Macquarie yang menyebabkan ledakan populasi kelinci Eropa. Selain itu, dampak negatif dari adanya pemberantasan spesies invasif adalah terjadi peningkatan pada perburuan oleh sesama spesies yang asli karena diakibatkan hilangnya spesies invasif. Spesies asli juga akan berkompetisi karena hilangnya pesaing yang unggul (Bergstrom et al., 2009).

4.3 Species Invasif Laut

4.3.1 Species Invasif pada Lingkungan Laut

Species invasif di laut dapat disebut juga *Introduced Marine Pests* (IMPs) (Australi dan Selandia Baru), *Aquatic Nuisance Species* (ANS) (Amerika), dan *Harmful Aquatic Organisms* (IMO Ballast Water Convention). Pada beberapa spesies laut, distribusi secara alami tidak dapat dibedakan karena adanya perpindahan spesies antar negara melalui kapal, kanal, kapal tongkang, dan akuakultur. Oleh karena itu, suatu spesies menjadi invasif atau tidak menjadi sulit untuk diketahui. Beberapa species yang dikira bagian dari species *native* atau asli adalah organisme *fouling*, seperti bivalvia shipworm (*Teredo navalis*), barnakel pada kapal (*Balanus amphirite*), kerang biru (*Mytillus*), kerang cokelat (*Perna*), dan beberapa spesies Oyster. Spesies-spesies ini dapat menyebar dan diberi julukan spesies laut kosmopolitan atau spesies kriptogenik (Jackson, 2008)

Spesies invasif sekarang dikenali sebagai ancaman terbesar bagi biodiversitas. Pada lingkungan laut dan pantai, spesies invasif telah diidentifikasi sebagai salah satu dari empat ancaman pada samudra di dunia bersama dengan sumber polusi berbasis darat, eksplorasi berlebihan pada sumber daya laut, dan penggantian atau kerusakan habitat laut. Species invasif juga berdampak pada

perikanan komersial, termasuk akuakultur dengan implikasi ekonomi yang serius. Selain itu, fouling atau pengotoran oleh spesies introduksi juga berdampak pada industri perkapalan, contohnya dapat penurunan kecepatan bejana dan menyebabkan pipa masuk air tersumbat (Jackson, 2008)

4.3.2 Hewan Laut Invasif

Beberapa contoh kasus hewan laut yang menjadi spesies invasif adalah sebagai berikut.

1. Kepiting Pantai Eropa/ Kepiting Hijau (*Carcinus maenas*)

Kepiting ini merupakan kepiting asli Eropa dan Afrika Utara. Kemudian, kepiting pantai Eropa diintroduksi ke Amerika Serikat, Australia, dan Afrika Selatan. Spesies ini merupakan *euryhaline* (organisme yang dapat hidup dalam kisaran salinitas yang luas) dan merupakan predator yang rakus yang pada beberapa lokasi, sehingga dapat menurunkan biodiversitas kepiting lain dan organisme bivalvia. Kepiting hijau mudah beradaptasi, mencari makanan, dan menggali sehingga dapat mengubah komunitas ekologi dan menyebabkan kerusakan habitat. Di pantai timur Amerika Utara diketahui bahwa kepiting hijau dapat berkembang biak dan merusak padang rumput belut dan membahayakan habitat pening bagi salmon. Spesies ini termasuk ke dalam 100 penyerbu “*world’s worst*”. Penyebaran spesies ini berasal dari akuakultur, perdagangan akuarium, air ballast, dan lambung kapal (Young and Elliott, 2020).



Gambar 4.6. Kepiting Pantai Eropa (*Carcinus maenas*)
(Sumber : <https://www.adfg.alaska.gov/>)

2. Kerang Zebra (*Dreissena polymorpha*)

Kerang zebra merupakan spesies asli dari Caspian dan Laut Hitam. Namun sekarang lebih banyak ditemukan di Inggris, Eropa Barat, Canada, dan Amerika. Kerang ini berkompetisi dengan zooplankton untuk mendapatkan makanan dan mempengaruhi jaring-jaring makanan. Mereka juga dapat mengganggu fungsi ekologis pada molluska asli dan menyebabkan kerusakan ekonomis yang besar. Kerang zebra menginvasi melalui jalur perdagangan akuarium, air ballast pada kapal, fouling pada lambung kapal, dan vegetasi yang melayang (Jackson, 2008).

Kerang zebra menyaring partikel organik dan anorganik antara 7 sampai 400 mikron dan berkompetisi dengan planktivora *native* atau asli untuk mendapatkannya makanannya. Hasil penyaringan dari kerang zebra tersebut adalah sedimentasi yang sebelumnya senyawa organik yang tersuspensi dalam bentuk feses atau pseudofeses yang akan mengganti keseimbangan energi dan nutrisi dari zona pelagik ke zona benthik. Peningkatan kejernihan air mendukung peningkatan fotosintesis oleh makrofita air yang memiliki akar dan berdampak negatif pada spesies ikan yang menyukai kondisi sedikit keruh, seperti ikan walleye. Dengan menghilangkan alga hijau akan memberi keuntungan kompetitif pada Cyanobacteria karena kerang zebra akan berhenti menyaring jika terdapat Cyanobacteria. Kerang zebra berkembang dalam jumlah yang banyak, sehingga menyebabkan kerang *native* (Unionidaceae) lemas, kelaparan, dan stres hingga mati. Hilangnya kerang *native* akan meningkat secara signifikan karena banyaknya jumlah kerang zebra, khususnya di Danau Great Amerika Utara dan Sungai Mississippi. Pemijahan ikan di terumbu karang seperti ikan trout juga dipengaruhi secara negatif oleh adanya kerang zebra (Jackson, 2008).



Gambar 4.7. Kerang Zebra (*Dreissena polymorpha*)
(Sumber : <https://www.wildlifedepartment.com/>)

3. Sea squirt (*Styela clava*)

Styela clava merupakan spesies asli yang ada di Pantai Pasifik Asia tetapi juga ditemukan dari Australia dan Selandia Baru pada tahun 2002, di Inggris pada 1953 dan juga negara-negara Eropa, Canada, dan Amerika (California dan Pantai Timur). Hewan ini toleran terhadap salinitas dan suhu yang mengalami fluktuasi. Hewan ini dalam bentuk dewasa sebagai predator dan tumbuh dengan cepat, dan sering menjadi dominan pada komunitas sesil pada struktur buatan seperti pelabuhan, struktur marina, dan peralatan perikanan (Jackson, 2008).

Invasif pada species ini mengakibatkan masalah ekonomi yang signifikan karena tingginya densitas fouling pada struktur kapal dan peralatan. Selain itu, adanya kompetisi dengan spesies budidaya dalam makanan dan ruang dan pertumbuhan berlebihan juga mengakibatkan masalah ekonomi pada petani tambak. Spesies ini juga cenderung untuk membentuk tegakan padat yang mempengaruhi nilai estetika sehingga mengurangi daya tarik area untuk olahraga selam dan aktivitas rekreasi lainnya (Kluza et al., 2006).



Gambar 4.8. Sea squirt (*Styela clava*)
(Sumber : <https://molecular ecologyblog.com/>)

4.3.3 Biofouling sebagai jalur masuknya species invasif

Species invasif diintroduksi ke area geografi baru dengan berbagai cara. Species invasif dapat diintroduksi secara sengaja untuk perikanan dan tujuan lain. Namun, dapat juga diintroduksi secara tidak sengaja melalui air ballast atau biofouling, yang merupakan akumulasi dari organisme yang tidak diinginkan pada permukaan kasar seperti pada lambung kapal dan bagian kapal yang terendam, kerang atau karapas lain, peralatan penangkapan ikan, budidaya laut, dan bahkan sampah di laut (Jackson, 2008).

Ketika terdapat permukaan baru, baik itu lambung kapal, dermaga, atau rakit budidaya laut ditempatkan di laut, umumnya sangat cepat dikolonisasi oleh berbagai species laut, walaupun sebagian besar spesies fouling berukuran kecil dengan tinggal di liang atau menempel, seperti kepiting, bintang rapuh, ikan kecil, dan juga parasit. Proses kolonisasi biasanya terjadi secara berurutan dengan pertama kali membentuk biofilm diikuti dengan perkembangan secara bertahap dengan membentuk species makro. Beberapa species yang membentuk biofouling adalah sebagai berikut (Chambers *et al.*, 2006).

1. Biofilm (bakteri, cyanobacteria, dan diatom)
2. Alga hijau berfilamen (*Enteromorpha* spp.)
3. Alga cokelat dan rumput merah
4. Hewan sesil (melekat)
5. Benthik dan epibenthik

6. Species komensalisme, parasit, dan patogen

4.4.4 Dampak Spesies Invasif Laut

Dampak dari spesies invasif dibagi menjadi 3 kategori, yaitu pengaruh terhadap biodiversitas, habitat, dan proses ekologi, pengaruh terhadap ekonomi, dan pengaruh terhadap kesehatan (manusia, hewan, dan tumbuhan).

1. Dampak terhadap ekologi

Dampak ekologis dari spesies invasif sangat kompleks dan terjadi akibat dari perubahan keanekaragaman hayati setempat atau perubahan terhadap proses ekologi. Spesies invasif berkompetisi dengan species asli dalam ruang dan makanan, memburu species asli, menggantikan habitat species asli, mengganti kondisi lingkungan (menurunkan kemurnian air), mengganti jaring-jaring makanan, dan mengganti species asli dengan mengurangi biodiversitas asli, sehingga menyebabkan kepunahan lokal. Misalnya di Mediterania, memiliki tingkat endemisme yang tinggi dan komunitas yang unik, namun memiliki proporsi spesies introduksi yang tinggi. Sejumlah cacing serpulid, yang juga merupakan pionir dari spesies fouling telah mengivasi area pelabuhan di seluruh Mediterania. Beberapa diantaranya yaitu *Australian tubeworm* (*Ficopomatus enigmaticus*), membangun terumbu biogenik yang luas yang dapat mengubah bentang alam lokal. Pada study Pelabuhan di Turkey, cacing serpulid membentuk lebih dari 95% organisme pada batu dan substrat buatan (Cinar *et al.*, 2006).

Di mediterania, kerang *Musculista senhousia* membentuk *bissal mats* (serat tekstil) yang padat pada sedimen yang lunak, mengubah hidrodinamik, sedimentologi, dan mikrotopografi dasar laut yang berdampak buruk pada bivalvia pemakan suspensi dan mendukung beberapa spesies yang makan di permukaan air (Mistri, 2003).

2. Dampak Ekonomi

Dampak ekonomi dapat terjadi baik sebagai sektor fouling pada lambung kapal dan fouling pada pipa asupan air dan infrastruktur lainnya. Dampak ini memiliki pengaruh yang serius terhadap industri perkapalan, akuakultur, dan pesisir. Misalnya dampak secara langsung dengan hilangnya produktivitas budidaya, peningkatan biaya bahan bakar untuk pengiriman serta biaya untuk pencegahan, pengelolaan, dan pengendalian yang berkelanjutan pada bidang perkapalan dan akuakultur (Jackson, 2008).

3. Dampak terhadap Kesehatan

Perhatian terhadap peran biofouling dalam penyebaran penyakit relatif sedikit. Namun, Minchin (2007), melaporkan beberapa studi terkait dengan dampak biofouling terhadap kesehatan, yaitu, penyebaran bonamiosis melalui tiram pada kapal tongkang di Inggris, Di Indo-pasifik dan Amerika Tengah virus bintik putih (*white spot virus*) yang mempengaruhi udang telah disebarkan oleh kepiting yang menghambat fouling pada lambung kapal, penyakit usus *Amoeba* yang mempengaruhi budidaya salmon, anemia infeksi salmon.

Michin dan Gollasch (2003), membahas juga bahwa moluska yang sering ada di lambung kapal juga menyebabkan perpindahan penyakit atau parasit antara populasi, terutama yang dekat dengan pelabuhan. Biofilm yang ada di dalam tangki ballast juga terlibat dalam transmisi berbagai mikroorganisme patogen.

DAFTAR PUSTAKA

- Boback, S.M. *et al.* 2022. 'Invasive brown treesnakes (*Boiga irregularis*) move short distances and have small activity areas in a high prey environment', *Scientific Reports*, 12(1), pp. 1–13. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16660-y>
- Bergstrom DM, Lucieer A, Kiefer K, Wasley J, Belbin L, Pedersen TK, Chown SL. 2009. Indirect effects of invasive species removal devastate World Heritage Island. *J Appl Ecol* 46:73–81
- Chambers, L.D., Stokes, K.R., Walsh, F.C. and Wood, R.J.K. 2006. Modern approaches to marine anti-fouling coatings. *Surface & Coatings Technology* 20 : 3642 – 3652.
- Harvey, R.G. *et al.* 2008. Burmese Pythons in South Florida: Scientific support for invasive species management. The Institute of Food and Agricultural Sciences Extension Services, University of Florida. Retrieved from <http://edis.ifas.ufl.edu/uw286>
- Jackson, L. 2008. 'Marine Biofouling and invasive species: guidelines for prevention and management', *Global Invasive Species Programme*, p. 68.
- Krentz, S. 2004. Missouri River Fish & Wildlife Mangement Assistance. *Scaphirhynchus albus*. The IUCN Red List Of Threatened Species. <https://dx.doi.org/102305/IUCN.UK.2004.RTLS.T1994040A174780962.en>
- Minchin, D. 2007. Aquaculture and transport in a changing environment: Overlap and links in the spread of alien biota. *Marine Pollution Bulletin* 55: 302 - 313.
- Minchin, D. and Gollasch, S. 2003. Fouling and Ship's Hulls: how Changing Circumstances and Spawning Events may Result in the Spread of Exotic Species. *Biofouling* 19: 111 – 122.
- Mistri, M. 2003. The non indigenous mussel *Musculista senhousia* in an Adriatic lagoon : effect on benthic community over a 10 year period. *Journal of Marine Biological Association, UK*. 83: 1277 – 1278.
- Russell JC, Blackburn TM. Invasive Alien Species: Denialism, Disagreement, Definitions, and Dialogue. *Trends Ecol Evol*.

2017. May;32(5):312-314. doi: 10.1016/j.tree.2017.02.005. Epub 2017 Feb 24. PMID: 28242055.
- Saylor, R. K., N. W. R. Lapointe, and P. L. Angermeier. 2012. Diet of nonnative northern snakehead (*Channa argus*) compared to three co-occurring predators in the lower Potomac River, USA. *Ecology of Freshwater Fish* 21:443-452.
- Scanes, C.G. 2017. 'Invasive species', *Animals and Human Society*, (June), pp. 413-426. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805247-1.00024-1>.
- Wahyudewantoro, G. and Rachmatika, I. 2016. *Jenis Ikan Introduksi dan Invasif Asing di Indonesia*. Available at: <https://e-service.lipipress.lipi.go.id/press/catalog/book/82>.
- Young, A.M. and Elliott, J.A. 2020. 'Life history and population dynamics of green crabs (*Carcinus maenas*)', *Fishes*, 5(1), pp. 1-44. Available at: <https://doi.org/10.3390/fishes5010004>.

BAB 5

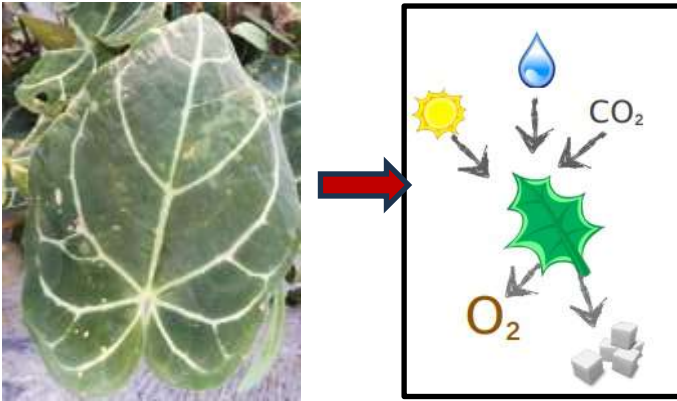
INTERAKSI HEWAN DAN TUMBUHAN

Oleh I Wayan Suanda

5.1 Pendahuluan

Penyebaran hewan di bumi ini dipelajari dalam zoogeografi, asal kata dari *zoo* berarti hewan dan geografi sebagai penggambaran fenomena geosfer. Dari segi etimologi geografi hewan merupakan ilmu pengetahuan yang mengkaji kehidupan hewan beserta sebarannya dan aspek yang mempengaruhi penyebarannya, seperti: iklim, ketersediaan pakan (tumbuh-tumbuhan), ekologi, geologis dan lainnya. Ilmu pengetahuan yang mempelajari tumbuhan dan hewan yang berhubungan dengan kehidupan, persebaran dan interaksi yang terjadi, baik dengan lingkungan fisik dan sosial termasuk manusia dipermukaan bumi, dipelajari dalam geografi tumbuhan dan hewan. Persebaran hewan dan tumbuhan yang ada dalam suatu areal atau kawasan menumbuhkan terjadinya interaksi yang saling menjaga kelestarian hidup melalui jaring-jaring makanan sebagai lingkungan abiotik dan biotik. Lingkungan biotik meliputi proses yang terjadi di dalam faktor biotik berupa hubungan intraspesifik, interspesifik serta hubungan antara hewan dan tumbuhan.

Hidup di alam yaitu dalam suatu ekosistem tidak bisa menyendiri dan selalu ada saling ketergantungan satu sama lainnya. Saling ketergantungan ini dapat menumbuhkan suatu kerjasama berupa simbiosis yang selalu dinamis berupa interaksi. Hubungan berupa interaksi yang terjalin antara hewan dan tumbuh-tumbuhan telah terjadi sejak lama. Hewan yang dalam hidupnya selalu berinteraksi dengan lingkungan, terutama tumbuhan sebagai sumber kehidupan. Tumbuhan yang menjadi sumber pakan bagi kehidupan hewan juga menghasilkan O_2 (oksigen) dan karbohidrat sebagai hasil dari proses fotosintesis yang mengubah CO_2 (karbondioksida) dan H_2O (air) yang dibantu cahaya matahari dan klorofil (zat hijau daun) dimiliki tumbuhan (Gambar 5.1).



Gambar 5.1. Proses Fotosintesis menghasilkan Glukosa dan Oksigen
(Sumber: I Wayan Suanda, 2023)

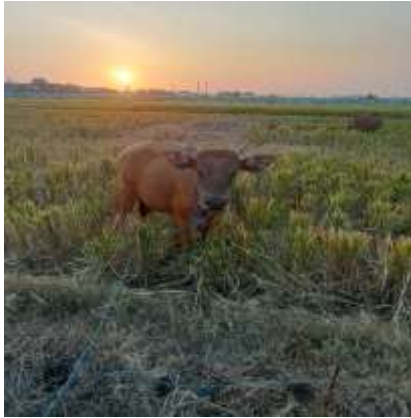
Dari kegiatan fotosintesis yang dilangsungkan tumbuhan ini menghasilkan sumber kehidupan di alam, baik kehidupan hewan maupun manusia yang berupa glukosa ($C_6H_{12}O_6$) dan O_2 (oksigen) serta energi lain. Inilah siklus interaksi sebagai proses anabolisme, yang tanpa pernah terhenti terjadi di alam yang melibatkan faktor biotik, yaitu tumbuhan dan hewan dengan faktor abiotik (cahaya matahari, karbondioksida dan air). Hasil dari proses fotosintesis ini menjadi sumber kehidupan bagi manusia dan hewan. Oleh karena itu keberadaan tumbuhan bagi manusia dan hewan sangat vital serta sulit tergantikan. Menyempitnya areal tempat hidup bagi tumbuhan akan menjadi malapetaka bagi kehidupan organisme lain (manusia dan hewan). Kondisi ini perlu menjadi pemikiran, pertimbangan secara arif dan bijaksana untuk mencari solusi terbaik, untuk menjaga alih fungsi lahan sebagai tempat tumbuhnya beberapa tumbuhan dan mempertimbangkan secara bijaksana dalam pemanfaatan lahan untuk alih fungsi.

Interaksi antara hewan (mammalia, aves, amfibi, reptil serta protozoa) dengan tumbuhan terus berlangsung tanpa henti sehingga terbentuklah rantai makanan dan jaring-jaring makanan. Dari interaksi ini terbentuk ekosistem yang seimbang. Dalam ekosistem yang seimbang ini akan terjadi proses anabolisme

(pembentukan material atau senyawa lebih kompleks dari beberapa unsur/zat) serta katabolisme (perombakan material kompleks menjadi materia lebih sederhana, unsur/zat). Hubungan antara hewan dan tumbuhan (hubungan biotik dengan biotik) telah banyak terjadi di alam, seperti: proses penyerbukan pada tumbuhan yang dilakukan burung kolibri, pencarian nektar oleh hewan (serangga) pada bunga dan penyerbukan yang terjadi pada peternakan lebah madu serta kebutuhan hewan akan tumbuhan sebagai pakan serta (Gambar 5.2 dan Gambar 5.3). Perkembangbiakan tumbuhan melalui pemencaran biji juga telah banyak terjadi karena bantuan burung (aves). Proses makan dan dimakan dalam bentuk rantai makanan maupun jaring-jaring makanan tidak terlepas dari interaksi hewan dan tumbuhan (tumbuhan sebagai produsen dan hewan sebagai konsumen), akan tetapi setelah terjadi dekomposer maka siklus kehidupan di alam bergerak terus.



Gambar 5.2. Interaksi Serangga (Hewan) dan Tumbuhan untuk mencari Nektar pada Bunga Marigold
(Sumber: I Wayan Suanda)



Gambar 5.3. Interaksi Hewan dan Tumbuhan untuk Mencari Makanan
(Sumber: I Wayan Suanda)

5.2 Interaksi Antar Organisme

Setiap organisme berupa hewan, tumbuhan dan mikroorganisme (mikroba) melakukan interaksi dalam bentuk aksi, reaksi dan koaksi yang lebih ditekankan bagaimana interaksi yang terjadi satu sama lain, peran dan fungsi untuk kehidupannya. Rayap *Natusitermes* sp. memiliki peran sebagai konsumen dan kemampuan untuk mendekomposisi selulosa, pada tumbuhan yang telah mati. Interaksi rayap juga terjadi dengan pohon (tumbuhan) melalui pembentukan gundukan sarang di pohon, seperti: pohon kedondong, petai cina, bunga merak, mengkudu dan kelor. Namun terjadi interaksi negatif yang terjadi pada rayap terhadap pohon dan daun terap. Reaksi negatif artinya bahwa rayap tidak mau merusak atau memakan daun dan kayu terap, hal ini disebabkan karena terap memiliki senyawa aktif yang tidak disukai rayap dan bersifat anti rayap.

Hubungan antara hewan dan tumbuhan mengakibatkan terjadinya suatu interaksi berupa suatu kerjasama atau simbiosis baik dalam bentuk simbiosis saling menguntungkan (simbiosis mutualisme) atau simbiosis parasitisme maupun komensalisme, bahkan simbiosisnya terjadi berbeda pada setiap siklus kehidupan hewan. Interaksi merupakan hubungan antara makhluk hidup antara yang satu dengan yang lainnya. Pada fase dewasa (imago)

serangga (hewan) memberi interaksi positif pada tumbuhan, yaitu membantu proses penyerbukan, namun pada saat fase larva (ulat) terjadi interaksi yang merusak bagian tumbuhan itu. Pembahasan yang terkait dengan interaksi antara hewan dan tumbuhan (faktor biotik) tidak bisa dilepaskan dengan faktor lingkungan (abiotik), dalam konsep ekosistem baik secara langsung maupun tidak langsung. Interaksi antar organisme di alam secara umum dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis interaksi, yaitu: intraspesies dan interspesies.

5.2.1 Interaksi Intraspesies (Intraspesifik)

Interaksi intraspesies adalah hubungan yang terjadi antara makhluk hidup (organisme) yang berasal dari spesies yang sama atau satu spesies. Hubungan intraspesifik ini meliputi: proses reproduksi, persaingan untuk mendapatkan makanan (kompetisi) dan saling bantu membantu, seperti: pada semut dan rayap, ayam dengan burung, kambing dengan sapi dan lain sebagainya. Dari kerjasama yang terjalin ini, maka akan terbentuk beberapa interaksi berupa kerjasama (simbiosis) dapat berupa komensalisme, seperti sapi memakan rumput akan tidak mempengaruhi keberadaan hewan lain, misalnya anjing. Interaksi ini banyak terjadi pada kehidupan organisme sejenis lainnya.

5.2.2 Interaksi Interspesies (Interspesifik)

Interaksi interspesies yaitu hubungan atau kerjasama yang terjadi pada makhluk hidup (organisme) yang berasal dari spesies yang berbeda. Interaksi ini bisa terjadi antara hewan dan tumbuhan, baik bersifat menguntungkan maupun merugikan. Hubungan interspesifik terdiri dari adanya predator/pemangsa, organisme parasit dan simbiosis, diantaranya.

1. Mutualisme: merupakan hubungan yang terjadi antara makhluk hidup yang saling menguntungkan
2. Parasitisme: hubungan antar makhluk hidup yang sepihak mendapatkan keuntungan dan pihak lain dirugikan
3. Komensalisme: hubungan, dimana satu pihak dapat keuntungan dan pihak lain tidak ada pengaruh (tidak dirugikan)

4. Predatorisme: hubungan yang terjadi antar makhluk hidup yang dengan memangsa salah satunya. Hewan yang memangsa memiliki ukuran lebih besar dengan yang dimangsa (ukuran lebih kecil), disebut predator.
5. Kompetisi: hubungan berupa persaingan hidup oleh makhluk hidup yang sejenis akibat keterbatasan sumber daya alam, terutama pakan.

5.3 Interaksi Serangga Dan Tumbuhan

Serangga yang secara umum hanya dikenal berperan sebagai hama tanaman, ataupun vektor penyakit menular, ternyata memiliki banyak peranan penting di alam diantaranya sebagai penyedia (produsen), fasilitator serta pengurai/dekomposer (Scudder 2009). Serangga berperan sebagai fasilitator interaksi interspesifik seperti yang terjadi pada proses penyerbukan. Permasalahan yang umum di jumpai dalam bidang pertanian adalah serangan hama tanaman, baik di lapangan, maupun ketika tanaman telah di panen dan disimpan dalam gudang. Dalam semua stadia kehidupan tanaman, selalu ada interaksi dengan serangga. Tidak ada bagian tanaman yang luput dari interaksi dengan serangga, mulai dari daun, batang, akar, buah, bunga sampai biji. Untuk itu dengan berbagai macam upaya, manusia selalu berusaha mengendalikan populasi serangga. Dalam hubungan timbal balik ini semua pihak mendapatkan suatu keuntungan secara langsung maupun tidak langsung, bahkan berdampak positif terhadap kehidupan lainnya. Bentuk kerjasama sebagai simbiosis mutualisme dapat ditemukan dalam kegiatan ternak madu pada serangga/lebah *Trigona* sp. untuk menghasilkan madu. Tumbuhan jenis tanaman bunga pengantin, santos lemon merah dan santos lemon putih banyak menghasilkan nektar dan polen yang menjadi sumber bahan madu itu diisap lebah *Trigona* sp. dan kupu-kupu (*Lepidoptera* sp.) melalui alat isap probosis (Gambar 5.4).



Gambar 5.4. Interaksi Hewan dan Tumbuhan, Lebah Madu (*Trigona* sp.) dan Kupu-Kupu (*Lepidoptera* sp.) Menghisap Nektar Bunga
(Sumber: I Wayan Suanda)

Tanaman dibantu serangga seperti lebah dan kupu-kupu dalam proses penyerbukan untuk mempercepat pembungaan dan pembentukan buah (tanaman buah) dan serangga mendapatkan nektar sebagai pakan yang mencerminkan simbiosis mutualisme.

5.3.1 Aves dan Tumbuhan

Bangsa burung (*Aves*) keberadaannya dalam ekosistem memiliki hubungan timbal balik dan saling ketergantungan dengan lingkungan termasuk lingkungan biotik, yaitu tumbuhan (Anggriana *et al.*, 2018; Kartikasari *et al.*, 2018). Interaksi antara klas *Aves* dengan tumbuhan sangat terjalin erat sebagai sumber pakan dan tempat bertengger. Dalam interaksi ini sering terjadi kompetisi untuk memperebutkan pakan yang di dapat pada tumbuhan itu sendiri. Ketersedian sumber pakan bagi klas *aves* dapat memberikan kehidupan yang layak, namun bila sebaliknya terjadi menyebabkan burung migrasi mencari sumber pakan di tempat lain, karena burung hidup sangat dinamis. Perubahan morfologi, fisiologi dan komposisi komunitas burung (*Aves*) akibat dari terganggunya ekosistem termasuk tumbuhan sebagai sumber pakan menjadi indikator terjadinya perubahan lingkungan (Ayat, 2011; Nurmaeti *et al.*, 2018). Keanekaragaman dan kelimpahan burung sangat dipengaruhi pada jumlah dan keanekaragaman tumbuhan di ekosistem tersebut (Teuscher *et al.*, 2015).

Hutan merupakan ekosistem terestrial yang luas dan yang banyak ditumbuhi oleh tumbuh-tumbuhan berupa pohon-pohon berbuah yang menyediakan makanan bagi burung. Tumbuhan ini ada yang tumbuh secara alami maupun hasil penanaman manusia yang bisa dijadikan sebagai kawasan konservasi. Ketersediaan makanan yang berlimpah dalam suatu areal yang luas dapat dijadikan kawasan konservasi (Mulyadi, 2010; Nugroho *et al.* 2015). Burung memiliki peran yang menguntungkan bagi tumbuhan di hutan, misal sebagai penyebar biji dan penyerbuk alami (*pollinator*) dan penyebar biji (*seed dispersal*) bagi tumbuhan (Rumanasari *et al.*, 2017). Selain itu juga sebagai pemangsa serangga hama yang dapat mengganggu kehidupan tanaman serta dapat mempercepat pelapukan kayu-kayu busuk (Mackinnon. 2010). Keberadaan burung di hutan kota sangat berpengaruh penting dan memperkuat fungsi ekologi (Naim, 2019). Kehadiran burung di suatu habitat dilihat dari kesesuaian dan ketersediaan habitat dalam mendukung kehidupan burung (Pratiwi, 2005), sehingga kehidupan burung di suatu kawasan atau ekosistem dijadikan sebagai indikator kesehatan lingkungan ekosistem (Nugroho *et al.*, 2015).

5.3.2 Mammalia dan Tumbuhan

Interaksi antara hewan dan tumbuhan dapat membentuk kelompok hewan yang didasari oleh jenis makanan sebagai sumber pakan. 1) Hewan yang termasuk kelompok herbivora, merupakan jenis hewan pemakan tumbuhan, berupa rumput dan dedaunan. Hewan herbivora ini diantaranya: sapi, karbau, kambing, domba, kelinci dan marmut. 2) Hewan Carnivora, kelompok hewan yang memakan daging atau hewan lain yang lebih kecil, sehingga kelompok ini digolongkan predator, seperti: harimau, buaya, biawak komodo, ular (biasanya dikategorikan hewan buas). 3) Kelompok Omnivora, merupakan jenis hewan yang dikategorikan memakan makanan berasal dari tumbuhan dan dari hewan lain (pemakan segalanya), seperti: angsa, ayam, musang dan babi. Pengelompokan hewan ini sangat dipengaruhi oleh cara pandang dalam menentukan jenis makanan yang dimakan dan sangat tergantung dari ketersediaan sumber makanan. Jika sumber pakan di suatu areal atau habitat dari hewan itu ketersediaanya terbatas,

maka akan menjadi faktor pembatas. Faktor pembatas inilah menimbulkan populasi dan kehidupan hewan-hewan di lokasi tersebut menjadi terganggu akibat adanya kompetisi. Sebaliknya bila ketersediaan sumber makanan sebagai pakan cukup tinggi dapat memberikan perkembangan populasi hewan menjadi maksimal (Richards & Coely, 2007).

Kelompok mammalia dari hewan herbivora sebagai pemakan rumput dan daun dalam metabolisme menghasilkan berupa kohe (kotoran) dan air kencing (urine) yang dihasilkan dapat dijadikan pupuk bagi tumbuhan (tanaman), yang saat ini telah dikembangkan dan memberi manfaat menuju pertanian organik. Hasil metabolisme herbivora berupa urine dapat dijadikan pupuk cair, yaitu biourine. Kohe (kotoran) dijadikan pupuk kandang dan pupuk biodinamik (BD), sehingga interaksi antara hewan dan tumbuhan terus berlangsung. Herbivora yang memakan daun dan bagian tumbuhan akan menghasilkan pupuk organik cair (POC) maupun pupuk organik padat. Pengembangan kohe sapi sebagai pupuk organik dalam pertanian mulai berkembang untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan meningkatkan kemampuan tumbuh serta produksi tumbuhan (tanaman) dengan kualitas organik (Gambar 5.5).



Gambar 5.5. Kohe Sapi Diinkubasi Selama 6 Bulan di dalam Tanduk Sapi Betina untuk Dijadikan Pupuk Biodinamik pada Tanaman

(Sumber: I Wayan Suanda)

Pupuk Biodinamik dalam bentuk *Tree Paste* dapat diaplikasikan pada bagian batang tanaman (Gambar 7) dan pupuk biodinamik jenis BD 500; 501; 502; 503 dapat mempercepat pertumbuhan tunas dan meningkatkan produktivitas tanaman. Pupuk Biodinamik ini mampu memacu pertumbuhan dan meningkatkan ketahanan sistemik pada tanaman. Dari beberapa hasil riset melaporkan bahwa pupuk biodinamik memiliki kemampuan sebagai pupuk hayati menyuburkan dan menyehatkan tanah berupa *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR). Pupuk Biodinamik ini merupakan salah satu bentuk interaksi hewan (sapi) dan tumbuhan yang terjadi secara sirkulasi. Artinya Herbivora (sapi) yang memakan rumput-rumputan, setelah proses metabolisme dalam usus sapi maka menghasilkan material berupa kotoran (kohe). Kohe sapi merupakan material sangat baik diolah untuk dijadikan pupuk biodinamik melalui suatu proses tertentu. Pupuk biodinamik ini memiliki keunggulan dalam memacu pertumbuhan tanaman dan mampu menyehatkan tanah secara berkelanjutan, sehingga dapat menggantikan pemakaian pupuk anorganik (pupuk kimia sintetis).



Gambar 5.6. Aplikasi Pupuk Biodinamik *Tree Paste* pada Batang Tanaman

(Sumber: I Wayan Suanda)

5.3.3 Manusia dan Tumbuhan

Tumbuhan yang hidup di alam bagi manusia merupakan berkah yang memberikan kesejahteraan, dimana hubungan

manusia dengan keberadaan tumbuhan dipelajari dalam etnobotani. Interaksi antara manusia dan tumbuhan terkait dengan bahan obat dalam kesehatan mempengaruhi peradaban kemajuan manusia. Tumbuhan memiliki potensi sebagai sumber daya untuk kehidupan organisme (manusia), karena tumbuhan memiliki klorofil yang berperan dalam proses fotosintesis. Senyawa yang dihasilkan dalam fotosintesis ini menjadi sumber energi bagi manusia dan hewan. Interaksi manusia dengan tumbuhan tidak dapat dipisahkan dan selalu terjalin secara erat, mengingat tumbuhan sebagai produsen berupa sumber bahan makanan dan sumber oksigen (O₂) yang sangat vital dalam kehidupan manusia maupun hewan.

Interaksi manusia dengan tumbuhan lama telah terjalin karena beberapa tumbuhan memiliki potensi sebagai bahan obat. Potensi tumbuhan ini telah dimanfaatkan manusia untuk diolah menjadi obat, dimana pengobatan tradisional telah didominasi bersumber dari tumbuhan. Terlebih Indonesia merupakan negara yang kaya akan keanekaragaman tumbuhan menjadi potensi sebagai sumber bahan obat dalam farmasi untuk kesehatan. Selain potensi tumbuhan dalam farmasi juga memiliki potensi dalam pengendalian OPT (organisme pengganggu tanaman) sebagai pestisida nabati (Suanda, 2021). Senyawa aktif sebagai metabolit sekunder yang terkandung pada bagian dari tumbuhan (akar, batang, daun, bunga, biji dan sebagainya) telah menjadi target bagi manusia untuk dikembangkan dalam skala industri untuk memenuhi kebutuhan bahan obat dan pestisida. Metabolit sekunder yang banyak dikandung oleh tumbuhan seperti: alkaloid, flavonoid, saponin, triterpenoid, fenolik, steroid, tanin dan senyawa aktif lainnya. Sedangkan metabolit primer merupakan senyawa yang diproduksi oleh tumbuhan secara normal berupa karbohidrat, protein dan lemak. Metabolit sekunder ini menjadi fokus riset untuk mendapatkan senyawa aktif yang sangat bermanfaat dalam kesehatan, farmasi, dan industri.

Keberadaan tumbuhan yang sangat penting bagi manusia dengan kemanfaatan sangat kompleks telah menjadikan manusia memberi rasa hormat kepada segala tumbuh-tumbuhan. Dalam Tri Premana dinyatakan bahwa tumbuh-tumbuhan hanya memiliki kemampuan tumbuh, berupa tenaga (bayu), sedangkan hewan

memiliki tenaga dan bersuara, berbicara (bayu dan sabde). Namun manusia memiliki ketiga premana itu, yaitu: tenaga (bayu), suara, berbicara (sabde) dan pikiran, kecerdasan (idep), sehingga kehidupan dari makhluk hidup ini memiliki ketergantungan yang selalu membentuk interaksi. Bagi umat Hindu di Bali keberadaan tumbuhan di alam sangat dijaga dan dihormati melalui upacara “Tumpek Bubuh” atau “Tumpek Uduh” atau “Tumpek Wariga” sebagai bentuk peringatan atau penghormatan kepada tumbuhan berupa yadnya (persembahkan secara ikhlas dan tulus) atau di Bali disebut “Otonan” tumbuh-tumbuhan (Gambar 5.7). Tumpek Wariga sebagai otonan tumbuh-tumbuhan yang dikaitkan dengan Tumpek Uye atau Tumpek Kandang sebagai otonan berupa yadnya yang dilakukan kepada hewan piaraan yang telah banyak memberikan kontribusi dalam pemenuhan kebutuhan hidup manusia. Dari perayaan berupa otonan atau yadnya yang diberikan kepada tumbuh-tumbuhan dan hewan sebagai bentuk adanya saling ketergantungan dalam hidup dan kehidupan di alam, sehingga akan terjadi suatu interaksi satu sama lainnya.



Gambar 5.7. Persembahkan Yadnya kepada Tumbuhan saat Tumpek Wariga
(Sumber: I Wayan suanda)

Interaksi tumbuhan dan manusia juga tercermin dalam bentuk pelestarian berupa tanaman hias di kota, kebun sekolah dan

tempat wisata dengan desain dan variasi yang menarik sesuai budaya dan kearifan lokal (Gambar 5.8). Pelestarian tumbuhan juga dilakukan dengan melakukan penanaman atau reboisasi di beberapa lahan yang memiliki nilai manfaat untuk menjaga konservasi tumbuhan dalam ekosistem.



Gambar 5.8. Interaksi Manusia dan Tumbuhan melalui Pembuatan Taman Kota, Kebun Sekolah dan Tempat Wisata
(Sumber: I wayan Suanda)

DAFTAR PUSTAKA

- Anggriana, P; Dewi, B.S dan Winarno, G.D. 2018. Populasi dan Pola Sebaran Burung Kuntul Besar (*Egretta alba*) di Lampung Mangrove Center. *Jurnal Sylva Lestari*, 6(3), 73-80.
- Ayat, A. 2011. Panduan Lapangan Burung-Burung Agroforest di Sumatra (In: Mardiasuti A, eds. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office).
- Elfidari, D. 2007. Jenis Interaksi Intraspesifik dan Interspesifik pada Tiga Jenis Kuntul saat Mencari Makan di Sekitar Cagar Alam Pulau Dua Serang, Propinsi Banten. Jurusan Biologi FMIPA Universitas Al Azhar Indonesia. Jakarta. *Jurnal Biodiversitas*; 8(4): : 266-269.
- Fatchan, Ach. 2011. Bahan Ajar Geografi Tumbuhan dan Hewan. Malang: Fakultas Ilmu Sosial Universitas Negeri Malang.
- Kartikasari, D; Pudyatmoko, S; Wawandono, N.B dan Utami, P. 2018. Komposisi Guild Komunitas Burung di Area Panas Bumi Cagar Alam dan Taman Wisata Alamkamojang Jawa Barat Indonesia. *Jurnal Hutan Tropis*; 6(2), 124-136.
- MacKinnon, J; Karen, P dan Balen, B. 2010. Seri Panduan Lapangan Burung- Burung di Sumatera, Jawa, Bali, dan Kalimantan. Puslitbang Biologi- LIPI, Bogor
- Mulyadi, A. 2010. Pengetahuan Lingkungan Hidup. Bandung: Prisma Press.
- Naim, M.A; Hadi, M dan Baskoro, K. 2019. Keanekaragaman burung daerah terbuka dan tertutup hutan kota Tinjomoyo dengan hutan kota Universitas Diponogoro Semarang||. *Jurnal Akademi Biologi*; 2 (8): 24-29.
- Nurmaeti, C; Abidin, Z dan Prianto, A. 2018. Keanekaragaman Burung pada Zona Penyangga Taman Nasional Gunung Ciremai. Quagga: *Jurnal Pendidikan dan Biologi*; 10(2), 54-59.
- Nugroho, A.S; Anis, T dan Ulfah, M. 2015. Analisis Keanekaragaman Jenis Tumbuhan Berbuah di Hutan Lindung Surokonto, Kendal, Jawa Tengah dan Potensinya sebagai Kawasan Konservasi Burung. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon*; 3 (1): 472-476.

- Pratiwi, A. 2005. Pengamatan Burung di Resort Bama Seksi Konservasi Wilayah II Bekol dalam Upaya Reinventarisasi Potensi Jenis. Taman Nasional Baluran. Jawa Timur.
- Rumanasari, R.D; Saroya dan Katili, D.Y. 2017. Biodiversitas burung pada beberapa tipe habitat di Kampus Universitas Sam Ratulangi. *Jurnal Mipa Unsrat*; 1 (6): 43-46.
- Richards, L.A and Coely, P.D. 2007. Seasonal and habitat Differences Affect the Impact of Food and Predation on Herbivores: a Comparison Between gaps and Understory of a Tropical Forest. *Oikos*; 116: 31-40.
- Suanda, I.W. 2023a. Pengaruh Faktor Biotik pada Tumbuhan dalam Buku Ekologi Serangga. Universitas PGRI Mahadewa Indonesia. Denpasar. Penerbit: GET Press Indonesia. Padang Sumatra Barat. Hal 131 – 152.
<https://globaleksekitifteknologi.co.id/ekologi-tumbuhan/>
<https://drive.google.com/file/d/1EsgRceSEAL31k0O8JyBaMik0WJI N9IbK/view?usp=sharing>
- Suanda, I.W. 2023b. Hubungan Ekologi Serangga dengan Sistem Pengendalian Hama Terpadu Pertanian Berkelanjutan. Dalam Buku Ekologi Serangga. Universitas PGRI Mahadewa Indonesia. Denpasar. Penerbit: GET Press Indonesia. Padang Sumatra Barat. Hal 131 – 152.
<https://getpress.co.id/product/ekologi-serangga>
<https://drive.google.com/file/d/1EsgRceSEAL31k0O8JyBaMik0WJI N9IbK/view?usp=sharing>
- Suanda, I.W. 2021. Manisnya Brotowali sebagai Fitofarmasida. Universitas PGRI Mahadewa Indonesia. Denpasar. Penerbit: KLIK MEDIA. Lumajang. 193 hal.
https://drive.google.com/folderview?id=14LFZTSDwsgqORvHx0ph f_Z6NFo6TUBz-
- Teuscher, M; Vorlaufer, M; Wollni, M; Brose, U; Mulyani, Y and Clough, Y. 2015. Trade-offs between bird diversity and abundance, yields and revenue in smallholder oil palm plantations in Sumatra, Indonesia. *Biological Conservation*; 186: 306-318.

BAB 6

ZOOGEOGRAFI

Oleh Riko Irwanto

6.1 Pendahuluan

Hewan memiliki sifat mobilitas yang tinggi sehingga persebarannya cenderung lebih tinggi jika dibandingkan dengan tumbuhan. Mobilitas tersebut didukung oleh keberadaan alat gerak dan morfologi hewan yang membantu dalam pergerakan dan perpindahannya. Secara morfologi hewan memiliki alat gerak mulai dari struktur yang sederhana seperti flagel, tentakel hingga struktur kompleks seperti sirip, kaki, lengan dan sebagainya.

Kingdom Hewan (Animalia) memiliki populasi anggota nomor dua terbanyak di bumi setelah kingdom tumbuhan (Plantae) yang hidupnya tersebar di berbagai ekosistem di seluruh penjuru bumi. Berbagai macam habitat seperti laut, air tawar, estuaria, daratan dan udara dapat kita temui keberadaan berbagai jenis hewan. Kingdom Animalia terdiri dari beberapa kelompok, klasifikasi umum yang kita sering kenal adalah adanya kelompok hewan vertebrata (bertulang belakang) dan kelompok hewan Invertebrata (tidak bertulang belakang). Secara umum hewan Invertebrata memiliki daya persebaran yang memanfaatkan pergerakan yang tidak secepat hewan vertebrata. Misalnya pada kelompok Porifera dan Coelenterata yang sering dikenal sebagai penyusun kelompok terumbu karang yang pergerakannya sangat minim bahkan sebagian besar anggotanya bersifat menetap (polip). Hal ini membuat persebaran makhluk hidup kelompok tersebut ini cukup sulit jika mengandalkan pergerakan. Namun dalam pandangan evolusi kelompok Porifera dan Coelenterata lebih dulu mendiami bumi, sehingga saat ini terumbu karang dapat ditemukan diseluruh lautan dan menjadi hewan yang berperan penting dalam ekosistem laut (Pechenick, 2010). Hal ini menunjukkan bahwa persebaran hewan juga tidak tergantung pada mobilitas alat gerak hewan tersebut namun kemampuan adaptasi dan lamanya fase

kehidupan organisme tersebut. Hewan laut cenderung tersebar mengikuti arus laut dan mengikuti perubahan yang terjadi di ekosistem laut selama masih bisa ditolerir untuk beradaptasi.

Kelompok hewan lainnya seperti Mamalia dan Aves yang memiliki alat gerak (lokomosi) lebih kompleks dibandingkan hewan lainnya memiliki kecenderungan untuk berpindah dari satu habitat ke habitat lain dengan lebih cepat. Perpindahan tersebut berhubungan dengan keadaan habitat tujuan yang dianggap lebih mendukung untuk kehidupannya. Selain itu terdapat faktor lain yang mempengaruhi kehidupan hewan burung dan mamalia seperti iklim dan makanan menjadi faktor penting hewan-hewan melakukan migrasi.

Perubahan iklim dan habitat di masa saat ini juga berkaitan erat dengan kegiatan manusia, baik itu untuk perumahan, perkantoran, maupun jalan atau akses transportasi. Secara langsung maupun tidak langsung perubahan lingkungan yang dilakukan manusia tersebut mengakibatkan sebagian atau keseluruhan hewan melakukan migrasi dari area tersebut. Secara tidak langsung aktivitas manusia seperti pabrik dan pertambangan juga dapat merubah habitat atau iklim yang dapat mempengaruhi persebaran hewan secara global.

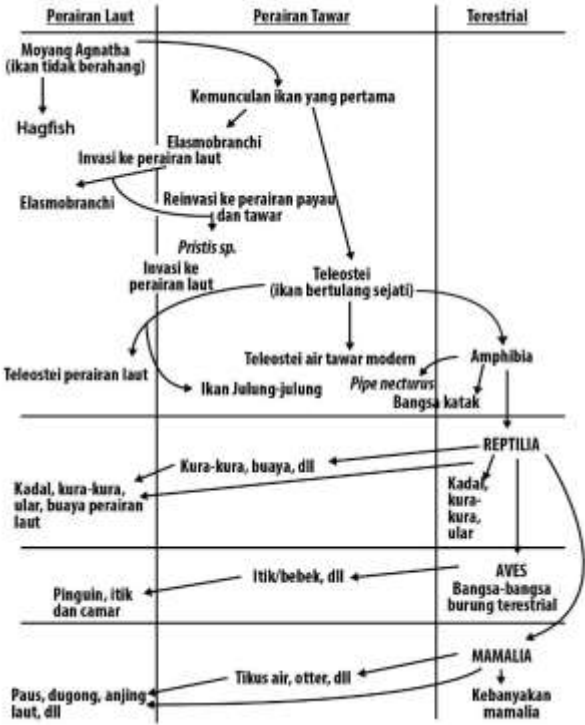
6.2 Sejarah adanya persebaran hewan

Istilah Zoogeografi mulai diperkenalkan oleh beberapa ahli diantaranya dalam buku karangan Inersoll (1920) menyebut istilah Zoogeografi. Zoogeografi merupakan cabang ilmu yang membahas tentang persebaran hewan di bumi dari masa ke masa. Persebaran hewan bisa terjadi secara alami dari satu tempat ke tempat lainnya dalam kurun waktu tertentu. Persebaran tersebut berkaitan erat dengan jenis hewan, keadaan geografis, dan iklim. Keadaan geografis yang berupa pulau besar atau pulau kecil tentunya menjadi tantangan bagi hewan tertentu dalam penyebarannya.

Pembahasan tentang penyebaran hewan menarik untuk dikaji untuk melihat distribusi hewan masa lampau yang kemudian menjadi penyusun hewan-hewan yang hidup hingga masa sekarang. Selain itu, dengan mengkaji penyebaran hewan

kita dapat menyusun ciri hewan berdasarkan kesamaan ciri misalnya secara filogenetik dan morfologi yang dapat menentukan klasifikasi dan taksonominya.

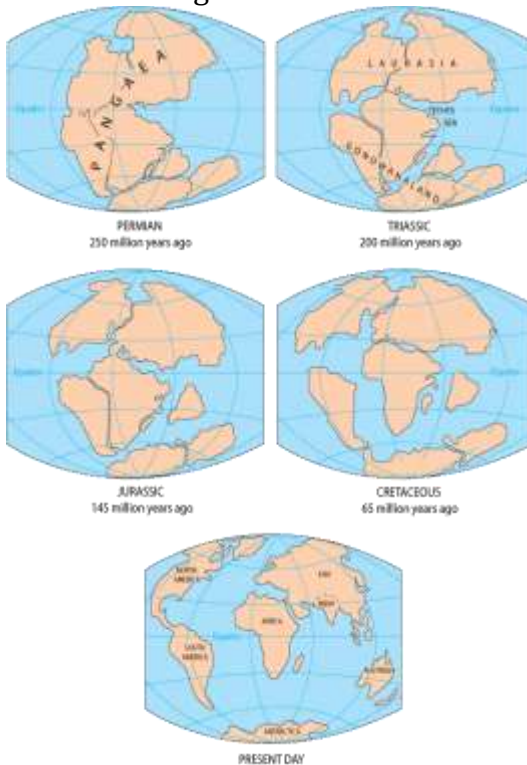
Pandangan evolusi menyebut bahwa penyebaran dan perkembangan hewan dimulai dari hewan laut (Gambar 6.1) yang menunjukkan nenek moyang ikan primitif Agnata menjadi awal bagi hewan-hewan kompleks kelompok amfibi, reptil, aves dan mamalia. Pandangan ini tentunya bisa saja kita sanggah, karena tidak semua hewan berevolusi ke tingkat yang lebih kompleks, sehingga setiap jenis hewan ternyata masih ada hingga saat ini, walaupun beberapa sudah ada yang punah.



Gambar 6.1. Perkiraan persebaran hewan (Rahardja, 2010)

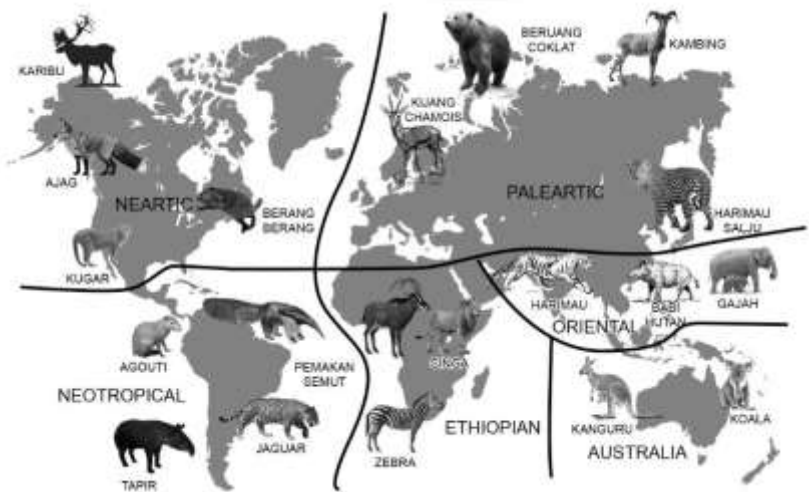
Persebaran hewan di bumi tidak terlepas dari kondisi bumi pada masa lalu. Banyak ahli membuat pendugaan kondisi bumi atau bentang alam di masa lalu yang tentu sangat berbeda

dengan saat ini. Di masa lalu benua diduga terdiri dari satu benua besar yang disebut Pangea yang kemudian terpecah menjadi beberapa benua dan pulau-pulau kecil (Gambar 6.2). Pemisahan Pangea membuat hewan-hewan bermigrasi dan terbagi di beberapa benua atau pulau. Adanya perubahan iklim, musim dan tantangan ekologi lainnya membuat terjadinya terjadi seleksi alam dalam ekosistem. Seleksi alam ini memilah spesies yang mampu bertahan atau *sustainable* sehingga spesies hewan yang masih bisa kita amati saat ini merupakan hasil seleksi alam dalam artian mampu bertahan hidup di habitatnya. Pandangan evolusi dalam konteks seleksi alam saat ini yang paling bisa diterima dalam menjelaskan keberadaan hewan yang dulu ada dan sekarang tidak ada atau sebaliknya.



Gambar 6.2. Perkiraan Perubahan bentang bumi dimulai dari pemisahan Pangea menjadi benua dan pulau-pulau (Sumber: <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/historical.html>)

Akibat perubahan bentang bumi dan distribusi hewan yang ditemukan di setiap pulau membuat ahli-ahli membuat riset dalam mengkaji jenis-jenis hewan berdasarkan lokasi ditemukannya. Tahun 1876, Alfred Russel Wallace membagi persebaran hewan menjadi 6 area (Gambar 6.3) yaitu Australian, Ethiopian, Neotropical, Neartik, Oriental dan Palearktik (Zid & Hardi, 2018).

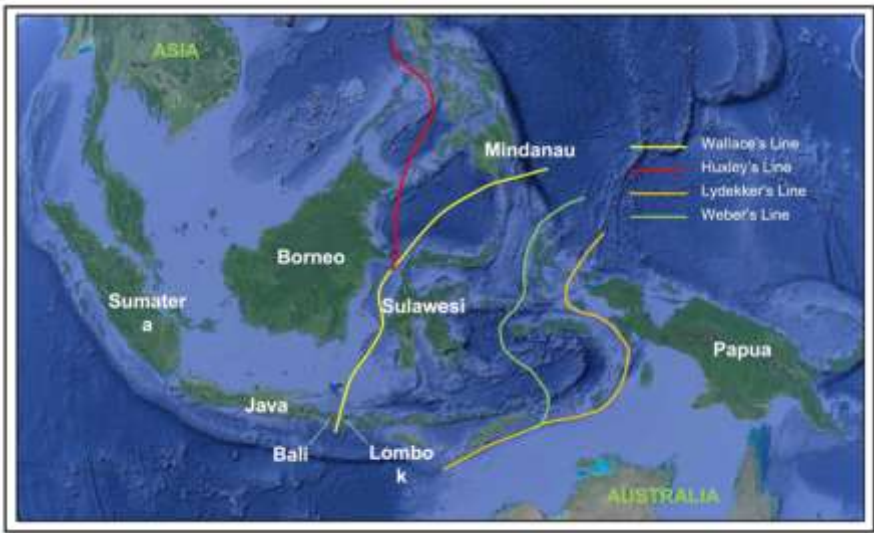


Gambar 6.3. Persebaran beberapa jenis hewan di beberapa benua atau negara (Sumber: Sugiri 1988)

6.3 Persebaran hewan di Indonesia

Indonesia yang terletak di garis lintang katulistiwa menyebabkan Indonesia memiliki daerah sebaran geografis yang terdiri dari Paparan Sunda, Wallace area dan Paparan Sahul (Gambar 6.4). Sebaran tersebut yang terbentuk dari pembagian menggunakan garis Wallace dan garis Weber (Syafei, 2017). Persebaran hewan di Indonesia tidak terlepas dari pengaruh persebaran hewan di dunia, walaupun beberapa jenis hewan ditemukan endemik di Indonesia. Hewan endemik Indonesia antara lain adalah *Bubalus depressicornis* (Sulawesi), *Babyrousa babyrussa* (Sulawesi), *Rhinoceros sondaicus* (Jawa), *Bos javanicus* (Jawa), *Dicerorhinus sumatrensis* (Sumatera), *Hylobates muelleri*

(Kalimantan), *Pongo pygmaeus* (Kalimantan), *Phalanger matabiru* (Maluku), *Phalanger rothschildi* (Maluku), *Dendrolagus pulcherrimus* (Papua), *Paradisaea rubra* (Papua), dan *Leucopsar rothschildi* (Bali) (Setiawan, 2022).



Gambar 6.4. Garis maya pembagian penyebaran hewan di Indonesia (Garis Wallace, Weber, Lydekker dan Huxley) (Sumber: Ngakan *et al* (2023)

Penelitian tentang keanekaragaman hewan terus meningkat seiring dengan kemajuan teknologi dan basis data penelitian yang utamanya dihimpun oleh LIPI atau sekarang menjadi BRIN. Persebaran hewan mamalia menurut Kemen LHK dan LIPI (2019) bahwa komposisi sebaran mamalia terbesar terdapat di Pulau Kalimantan (268 jenis), diikuti pulau Sumatera (257 jenis), pulau Papua (241 jenis), pulau Sulawesi (207 jenis), dan Pulau Jawa di urutan kelima dengan 193 jenis. Data tersebut tentunya dapat terus berubah dari tahun ke tahun.

Selain hewan mamalia, data Syafei (2017) menyebut bahwa ikan yang ada di Indonesia berjumlah sekitar 1193 spesies dan memiliki spesies ikan air tawar nomor tiga terkaya di dunia. Hal ini merupakan potensi yang luar bisa dimana Indonesia memiliki sungai dan aliran sungai yang aktif sepanjang tahun karena hanya

memiliki dua musim yaitu musim hujan dan kemarau. Tentunya persebaran ikan sangat berkaitan dengan arus aliran sungai dan arus laut yang dapat berbeda pada setiap musim dan iklimnya. Berikut disajikan jumlah hewan endemik di Indonesia (Tabel 6.1).

Tabel 6.1. Spesies hewan endemik yang terancam di Indonesia

Kelompok Fauna	Total endemik	Endemik yang terancam	
		Jumlah spesies	%
Vertebrata			
Mamalia	291	126	43,3
Burung	74	23	31,08
Buaya dan biawak	0	0	0,0
Chamelom	0	0	0,0
Amfibi	193	26	13,47
Grouper	0	0	0,0
Herring, Anchovies	10	0	0,0
Seahorse dan pipefishes	3	0	0,0
Sturgeons	0	0	0,0
Wrasses dan Parrotfishes	12	0	0,0
Sharks dan Rays	14	4	28,57
Jumlah vertebrata	597	179	29,98
Invertebrata	Xxxx	xxx	Xxx
FW Crabs	71	13	18,31
FW Crayfish	5	1	20,0

Sumber: Setiawan (2022)

Berbeda dengan mamalia dan ikan, persebaran burung di memiliki sifat mobilitas yang lebih tinggi dibandingkan jenis hewan lain karena kemampuan jelajah dan terbangnya, terutama burung migrasi. Burung migrasi yang dimaksud baik burung yang ada di Indonesia yang bisa berpindah dari satu area ke area lain dalam Indonesia maupun burung yang dapat berpindah masuk atau ke luar Indonesia. Lokasi geografis Indonesia yang bertetangga dengan negara lain seperti Malaysia dan Brunei Darussalam yang bersebelahan langsung dan berbatasan daratan maupun hanya

dipisahkan oleh selat. Sehingga memungkinkan burung untuk berpindah antar negara. Data dari Haryoko (2014) menyebutkan bahwa Kabupaten Natuna menjadi bagian dari perlintasan burung migran yang berasal dari belahan bumi utara, yang melakukan migrasi menuju ke bagian selatan. Penelitiannya menyebut sebanyak 14 jenis burung migran yang terdiri atas lima famili yaitu Ardeidae (dua jenis), Charadriidae (empat jenis), Scolopacidae (enam jenis), Laridae (satu jenis) dan Hirundinidae (satu jenis) ditemukan di Kabupaten Natuna.

Penyebaran burung mestinya terjadi secara alami yang disebabkan kebutuhan burung itu sendiri untuk berpindah atau menyebar seperti untuk mencari habitat yang sesuai maupun perubahan musim yang alami. Namun tak bisa dihindari saat ini berkurangnya habitat hutan membuat burung berpindah dan sebagian ditangkap oleh manusia untuk diperjualbelikan. Data penelitian Irwanto et al (2023) ditemukan 1.357 ekor burung yang diperdagangkan di Kota Pangkalpinang (Bangka) yang terdiri dari 65 jenis burung (22 famili, 6 ordo) yang diperdagangkan. Empat diantaranya merupakan jenis burung yang termasuk dalam kategori 'terancam' (*Endangered*) adalah *Chloropsis sonnerati* (cica-daun besar), *C. cochinchinensis* (cica-daun sayap-biru), *Lonchura oryzivora* (gelatik jawa) dan *Alophoixus bres* (empuloh janggut) (Gambar 6.5). Hal ini tentu akan mengurangi jumlah burung di alam atau bahkan menjadi tanda bahwa habitatnya telah terganggu oleh manusia. Tingginya minat manusia untuk memiliki dan memelihara hewan khususnya burung membuat jumlah burung di habitat alaminya semakin berkurang. Perlu dilakukan tindakan tegas dan pemantauan yang intensif terkait perdagangan hewan.



Gambar 6.5. Burung yang ditemukan diperdagangkan dan masuk dalam kategori terancam punah dan dilindungi (A. *Chloropsis sonnerati*, B. *Chloropsis cochinchinensis*, C. *Lonchura oryzivora*, D. *Alophoixus bres*) (Sumber: Irwanto, et al (2023)).

6.4 Faktor-faktor yang menyebabkan persebaran hewan

Hewan sebagai salah satu komponen biotik dalam ekosistem tentunya sangat berkaitan erat dengan keadaan faktor lingkungan lain baik itu dengan komponen biotik lainnya maupun komponen abiotik. Faktor abiotik yang terdapat di ekosistem diantaranya:

1. Cahaya Matahari

Cahaya matahari mempengaruhi ekosistem baik secara langsung maupun tak langsung. Hewan-hewan seperti ikan pelagis (ikan permukaan) dan hewan aktif di siang hari memanfaatkan cahaya matahari dalam aktivitas hidupnya terutama dalam perburuan mangsa. Sedangkan dampak cahaya matahari secara tak langsung dalam ekosistem dapat mempengaruhi komponen biotik seperti tumbuhan sehingga bagi hewan herbivora (pemakan tumbuhan) akan cenderung memilih habitat yang jumlah tumbuhan yang banyak. Keberadaan tumbuhan dan hewan herbivora ini juga diikuti oleh keberadaan serangga tanaman, dan pengurai. Selanjutnya keberadaan mereka dapat mempengaruhi persebaran hewan di tingkat tropik berikutnya yaitu hewan karnivora pemakan hewan herbivora tersebut. Apabila terjadi perubahan habitat atau menurunnya jumlah tumbuhan sumber makanan herbivora maka migrasi hewan dapat terjadi. Migrasi tersebut diikuti oleh hewan karnivora yang akan mengikuti migrasi populasi hewan mangsanya.

2. Air

Hewan dalam hidupnya membutuhkan air untuk metabolisme tubuh mengatur cairan dan molekul dalam tubuhnya. Air sebagai komponen seluler makhluk hidup khususnya hewan menentukan keberlangsungannya, terlebih lagi jenis ikan (Pisces) dan Amfibi yang hidup berkaitan erat dengan air bukan hanya untuk minum tetapi juga untuk reproduksi (pertemuan sel sperma dan ovum di air) dan pernapasan (oksigen terlarut dalam air). Keberadaan air yang minim menjadi penanda suatu area kemungkinan besar memiliki jumlah spesies atau populasi

hewan yang sedikit. Bahkan di area gurun, kelompok hewan akan berpusat di oasis, sebuah tempat yang terdapat genangan air. Selain itu, beberapa jenis hewan juga mampu melakukan penyesuaian dalam menghemat air dalam kondisi habitat tertentu, misalnya Unta dengan punuknya dan beberapa jenis lele seperti ikan lele pengisap [*Hypostomus plecostomus*], yang tahan kekeringan (Gambar 6.6).



Gambar 6.6. Ikan lele pengisap [*Hypostomus plecostomus*] tahan kekeringan ditemukan di Florida
(Sumber: <https://www.floridamuseum.ufl.edu/discover-fish/florida-fishes-gallery/suckermouth-catfish/>)

3. Tanah

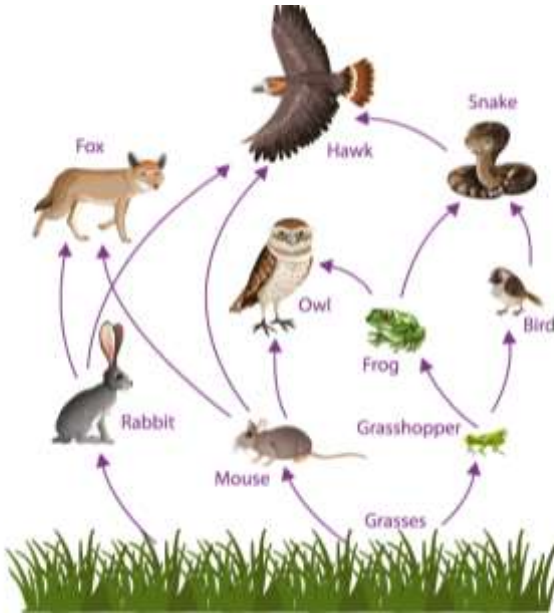
Hewan mesofauna (misalnya kelompok Collembola, dan serangga tanah) dan kelompok cacing tanah akan sangat bergantung pada kandungan tanah. Diketahui beberapa jenis Collembola (ekor pegas) ditemukan jenis berbeda berdasarkan kandungan tanah, misalnya pada lahan bekas tambang dan tanah hutan. Penelitian Chairunnisa *et al* (2022) menyebutkan bahwa Famili Oncopoduridae hanya ditemukan di hutan yang masih alami dan tidak ditemukan di lahan bekas tambang walaupun sudah di reklamasi (revegetasi). Tujuh Famili lain terdapat di kedua lokasi yaitu lahan bekas tambang dan hutan kontrol yaitu Famili Neanuridae, Onychiuridae,

Isotomidae, Entomobryidae, Paronellidae,
Sminthurididae dan Sminthuridae.

4. Letak geografis

Pengaruh letak geografis berkaitan dengan keadaan bentang bumi. Selain itu, letak geografis juga dapat berbanding lurus dengan keadaan faktor biotik lainnya seperti intensitas cahaya, angin, iklim atau cuaca. Letak geografis yang berada di garis katulistiwa memiliki ekosistem berupa hutan hujan tropis sehingga hewan yang terkandung di dalamnya akan sangat beragam. Berbeda dengan letak geografis di area kutub utara, hewan menyebar dan memiliki kemampuan bertahan hidup di area dingin atau perubahan iklim yang berbeda dengan yang ada di katulistiwa. Bukan hanya jumlah populasi hewannya namun juga jenis hewan yang variatif di masing-masing letak geografis. Persebaran hewan di masing-masing geografis akan berbeda antara masa saat ini dengan masa lalu, karena pergerakan lempeng bumi dan bentukan pulau dapat mempengaruhi persebaran hewan.

Selain faktor abiotik, faktor biotik tumbuhan dan hewan yang saling berinteraksi mempengaruhi persebaran hewan. Interaksi makan dan dimakan (predasi) merupakan hubungan yang sangat sering terjadi antar hewan. Sehingga tidak jarang hewan karnivora apabila ditemukan dalam suatu habitat pastinya ditemukan hewan mangsanya. Hewan mangsa terkadang bukan hanya tersedia satu jenis karena terdapat beberapa jenis hewan yang akan menjadi buruannya (jaring makanan) (Gambar 6.7).



Gambar 6.7. Jaring-jaring makanan yang menjadi interaksi antara hewan dan faktor biotik lainnya dalam persebaran hewan (Sumber: <https://byjus.com/biology/overview-of-food-chain/>)

Interaksi lainnya berupa simbiosis baik itu saling menguntungkan (mutualisme) maupun ada yang dirugikan (parasitisme). Hubungan tersebut mengakibatkan keberadaan suatu jenis hewan yang bersimbiosis tentunya diikuti oleh keberadaan hewan yang bersimbiosis. Di sisi lain simbiosis parasit memberikan kerugian bagi hewan inangnya, namun dalam konteks persebaran hewan interaksi tersebut menjadi faktor penentu dalam persebaran hewan parasit.

DAFTAR PUSTAKA

- Chairunnisa, F., Irwanto, R., & Apriyadi, R. 2022. Kelimpahan dan keanekaragaman collembola pada tingkat Kesuburan tanah di lahan percontohan reklamasi tambang timah Desa bukit layang, Bangka. *Jurnal Ilmu tanah dan Ilmu Lingkungan*, 24 (2), 103-109.
- Haryoko, T. 2014. Persebaran dan habitat persinggahan burung migran di kabupaten Natuna provinsi kepulauan Riau. *Berita Biologi*, 13(2), 221-230.
- Ingersoll, Ernest. 1920. "Zoogeography". Dalam Rines, George Edwin. *Encyclopedia Americana*.
- Irwanto, R., Afriyansyah, B., Qomariah, I.S., Junita, & Fadhilah, Y.S. 2023. Keanekaragaman dan status konservasi Burung yang diperdagangkan di kota Pangkalpinang, provinsi kepulauan bangka Belitung, *Berita Biologi*, 22(2), 179-187.
- Kemen LHK dan LIPI. 2019. Panduan Identifikasi Jenis Satwa Liar Dilindungi: Hervetofauna. Kementerian Lingkungan Hidup dan kehutanan dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
- Muhammad Zid dan Ode Sofyan Hardi. 2018. *Biogeografi*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Ngakan, P. O., Nasri, N., & Putra, P. S. 2023. The value of the Wallacea Region: Considerations behind the changing scope of JPK Wallacea. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 12(1), 1-7. <https://doi.org/10.24259/jpkwallacea.v12i1.26952>
- Pechenik, Jan A. 2010. *Biology of The Invertebrates*. 6 edition. New York: McGraw-Hill
- Setiawan, A. 2022. Keanekaragaman Hayati Indonesia: Masalah dan Upaya Konservasinya. *Indonesian Journal of Conservation*, 11(1), 13-21.
- Sugiri, N. 1988. *Zoologi Avertebrata II*. Pusat Antar Universitas Ilmu Hayat. IPB
- Syafei, L.S. 2017. Keanekaragaman Hayati dan Konservasi Ikan Air Tawar. *Jurnal Penyuluhan Kelautan dan Perikanan Indonesia*, 11 (1), 48-62.
- Zid, M., & Hardi, O.S. 2018. *Biogeografi*. Jakarta: Bumi Aksara.

BAB 7

ZOOPALEONTOLOGI

Oleh Wahyu Anggar Wanto

7.1 Pendahuluan

Istilah zoopaleontologi berasal dari beberapa kata dari bahasa Yunani yaitu Zoo yang berarti hewan, Paleo – masa lampau, Onthos – kehidupan dan logos – ilmu. Jadi bisa disimpulkan bahwa istilah zoopaleontologi adalah ilmu yang mempelajari kehidupan hewan di masa lampau. Secara garis besar zoopaleontologi akan mempelajari fosil – fosil hewan yang sudah punah. Zoopaleontologi masuk ke dalam kajian ilmu paleobiologi yang mempelajari sejarah kehidupan masa lampau. Pada bab ini akan lebih banyak membahas kehidupan hewan di masa lampau hingga menjalani evolusi dan menjadi hewan yang biasa kita kenal sekarang ini (Gradstein *et al.*, 2020).



Gambar 7.1. Fosil dari Filum Trilobita
(Sumber : Wikipedia)

7.2 Konsep dan Pengertian Prasejarah

Menurut KBBI Prasejarah berasal dari dua kata yaitu “pra” yang berarti sebelum atau belum ada dan “Sejarah” yang memiliki arti catatan atau tulisan masa lampau maka dari itu pengertian

zaman prasejarah adalah zaman atau waktu dimana tulisan-tulisan masa lampau belum ada. Zaman prasejarah juga bisa disebut zaman nirleka atau zaman tulisan belum ditemukan (nir = tidak, leka = tulisan). Konsep zaman prasejarah mengacu pada waktu, artinya batas antara zaman prasejarah dan Sejarah adalah kapan ditemukan tulisan atau catatan masa lampau yang ada pada daerah tersebut. Hal tersebut berarti masa prasejarah masing – masing daerah dan negara akan berbeda, tergantung kapan Masyarakat di daerah tersebut mengenal tulisan. Walaupun belum mengenal tulisan, orang-orang prasejarah sudah bisa berkomunikasi. Hal ini dibuktikan dengan adanya gambar – gambar yang ada pada beberapa benda dan tempat peninggalan prasejarah yang ditafsirkan sebagai alat komunikasi bagi sesama orang – orang prasejarah (Mainaki and Putri, 2020).



Gambar 7.2. Ilustrasi kehidupan prasejarah
(Fauziah, 2022)

Tidak hanya berfokus pada manusia, para peneliti antropologi biologis juga memetakan dan meneliti bahwa pada zaman prasejarah diawali oleh adanya hewan – hewan sederhana hingga kompleks yang hidup bersama bahkan memburu para manusia purba. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh ahli antropologi dan geologi, setidaknya ada tiga zaman pada peradaban prasejarah yaitu Paleozoikum, Mesozoikum dan Neozoikum (Mainaki and Putri, 2020).

7.3 Biologi dan Prasejarah

Adanya pembagian zaman prasejarah tidak semata – mata karena didasarkan ada atau tidaknya tulisan dan kebudayaan yang dilakukan manusia purba. Pembagian zaman prasejarah tidak lepas dengan adanya fosil hewan – hewan purba yang juga menjadi pertimbangan awal mula kehidupan manusia purba. Hal ini karena diketahui manusia purba melakukan perburuan untuk mendapatkan makanan dan bertahan hidup. Masing – masing zaman prasejarah juga menunjukkan bahwa ada perbedaan hewan yang mendominasi lingkungan permukaan bumi (Henke and Tattersall, 2015).

7.3.1 Biologi Paleozoikum

Paleozoikum merupakan zaman prasejarah yang disebut zaman primer atau zaman kehidupan tua. Zaman ini berlangsung sekitar 245 hingga 545 juta tahun lalu. Pada periode ini suhu bumi perlahan menurun sehingga memungkinkan kehidupan mulai muncul. Makhluk hidup yang mendominasi periode ini adalah mikroorganisme, ikan yang tidak memiliki rahang, sedikit jenis amfibi dan reptil serta beberapa hewan invertebrata lainnya. Zaman ini dibagi menjadi enam periode dari yang tertua hingga paling muda (Munnecke *et al.*, 2010).

1. Zaman Kambrium

Periode ini berlangsung dari 541 juta hingga 485,4 juta tahun lalu. Kehidupan pada periode ini terbatas pada lingkungan perairan terutama laut. Fosil yang ditemukan lebih banyak batuan metamorf dan hewan – hewan Archeocyatha, trilobita, brachiopoda dan mollusca purba.



Gambar 7.3. Fosil Archeocyatha
(Kerner, 2012)

2. Zaman Ordovisium

Zaman ini terjadi pada rentang 484,4 hingga 443,8 juta tahun lalu. Pada periode ini muncul ikan tanpa rahang yang dinobatkan menjadi vertebrata tertua. Nama periode ini diusulkan oleh ahli geologi Inggris bernama Charles Lapworth.



Gambar 7.4. Fosil Arthropoda Raksasa
(Jenihansen, 2022)

3. Zaman Silur

Zaman Silur dicirikan dengan adanya persebaran fauna yang lebih luas. Pada zaman ini daratan sudah mulai bergerak dan membentuk pegunungan di beberapa tempat. Zaman ini memiliki rentang waktu 443,8 hingga 419,2 juta tahun lalu.

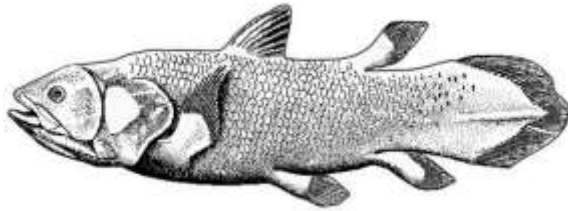


Gambar 7.5. Fosil *Pentamerus oblongus*
(Brachiopoda bercangkang besar)
(Wikipedia)

4. Zaman Devon

Zaman Devon berlangsung dengan rentang waktu 419,2 hingga 358,9 juta tahun lalu. Pada periode ini hewan – hewan vertebrata perairan sudah mulai melakukan transisi kehidupan ke darat. Beberapa jenis amfibi dan ikan

Crossopterygian sudah mulai menghirup udara secara langsung.



Gambar 7.6. Salah satu jenis ikan Crossopterygian
(Wikipedia)

5. Zaman Carbon

Zaman Carbon dengan rentang tahun sekitar 358,9 hingga 298,9 juta tahun lalu ini. Pada Zaman Carbon, kehidupan hewan di darat semakin banyak ditemukan. Tumbuhan dan hewan mulai bisa bereproduksi di tengah keadaan yang masih sangat lembab. Serangga pada zaman ini sudah mulai mengembangkan sayap mereka.



Gambar 7.7. Fosil Meganeura (Capung purba)
(Fadhila, 2021)

6. Zaman Permian

Zaman terakhir dalam era paleozoikum mempunyai rentang waktu 298,9 hingga 252,2 juta tahun lalu. Terjadi kepunahan massal pada zaman permian ini. Hanya tersisa beberapa jenis hewan yang mampu bertahan seperti jenis blastoid, fusulinid dan trilobita (Gambar 7.1). Sekitar 95% invertebrata laut purba mengalami kepunahan selama zaman permian.

Sebaliknya vertebrata akuatik dan terestrial mengalami peningkatan hidup yang cukup signifikan. Penyebab utama kepunahan massal ini belum jelas, akan tetapi para ahli memperkirakan karena keadaan iklim yang tidak stabil.

7.3.2 Biologi Mesozoikum

Mesozoikum berasal dari kata Meso yang berarti tengah atau pertengahan dan zoe yang artinya hidup atau kehidupan. Artinya zaman era mesozoikum adalah era prasejarah yang berada di tengah – tengah era lainnya. Zaman mesozoikum juga dikenal sebagai zaman dinosaurus karena pada zaman ini dunia sedang dikuasai oleh reptil – reptil besar yaitu dinosaurus. Rentang waktu zaman ini diperkirakan sekitar 252 hingga 66 juta tahun lalu. Ciri – ciri ekologi zaman ini yaitu iklimnya hangat dan kering yang disebabkan pertumbuhan dan perkembangan flora fauna purba. Flora dengan daun lebar, adanya ikan, amfibi, reptil dan mamalia pertama juga tumbuh serta berkembang pada zaman ini. Zaman ini diakhiri dengan hilangnya dinosaurus yang menguasai bumi pada waktu itu. Era mesozoikum dibagi menjadi tiga rentang waktu dan masing – masing waktu memiliki organisme yang beranekaragam (Dalziel, 1997).

1. Era Triassic

Zaman Triassic diperkirakan berlangsung sekitar 252 hingga 201 juta tahun lalu. Zaman ini menjadi jembatan dari era permian yang telah mengalami kepunahan massal. Zaman ini dibagi menjadi tiga waktu, yaitu triassic awal, tengah dan akhir. Era awal triassic ditandai dengan Pangea yang bergerak ke arah utara dan es pada bagian selatan sudah mulai mencair. Hewan – hewan yang mampu bertahan dari kepunahan massal seperti Lystrosaurus, Labyrinthodonts dan Euparkeria berada dipuncak diversitas pada awal triassic. Memasuki pertengahan triassic ekosistem sudah mulai pulih. Reptil – reptil laut seperti Ichthyosaurus mulai berevolusi dan mendominasi perairan laut. Reptil – reptil darat seperti buaya dan dinosaurus juga mulai berkompetisi di daratan. Periode akhir triassic ditandai dengan semakin banyaknya (*blooming*) kelompok – kelompok dinosaurus yang

disebabkan perubahan iklim yang semakin menghangat dan laju penguapan yang meningkat. Pada periode ini juga muncul pterosaurus pertama yang akan menjadi nenek moyang burung modern (Preto, Kustatscher and Wignall, 2010).



Gambar 7.8. Fosil Pterosaurus
(Rusmin, 2019)

2. Era Jurassic

Era jurrasic diperkirakan sekitar 200 hingga 145 juta tahun lalu. Era ini juga memiliki tiga pembagian waktu sama seperti era triassic. Era awal jurrasic kelembaban udara semakin meningkat menyebabkan iklim semakin terasa seperti iklim tropis. Hal tersebut menyebabkan es mencair dan menyebabkan daratan – daratan semakin terpisah oleh perairan. Plesiosaurus, Ichthyosaurus dan beberapa Ammonite mendominasi lautan. Dilophosaurus menguasai daratan pada awal Jurrasic .

Memasuki pertengahan jurrasic ekologi bumi di dominasi oleh paku – pakuan (Pteridophyta), pinus dan beberapa jenis cemara. Hal tersebut menyebabkan Sauropod besar seperti Brachiosaurs dan Diplodocus menguasai daratan. Adanya herbivora besar tersebut juga diimbangi oleh predator besar seperti Allosaurus. Pada akhir masa jurrasic burung pertama yaitu Archaeopteryx muncul hasil dari evolusi dinosaurus coelurosaurian. Level air laut juga semakin meningkat pada era ini, menyebabkan laut Atlantik memisahkan Pangea yang berpotensi semakin meningkatkan diversitas dinosaurus.



Gambar 7.9. Fosil Diplodocus dan Allosaurus
(Sumartiningtyas, 2020)

3. Era Cretaceous

Era cretaceous juga disebut zaman kapur. Zaman ini diperkirakan berlangsung dari 145 hingga 66 juta tahun lalu. Berbeda dengan dua era sebelumnya. Zaman kapur hanya memiliki dua pembagian waktu, yaitu cretaceous awal dan cretaceous akhir. Walaupun hanya memiliki dua pembagian waktu, zaman ini adalah zaman paling lama dalam rentang waktu mesozoikum. Zaman kapur awal ditandai dengan semakin meningkatnya permukaan air laut yang menyebabkan sauropod besar mengalami penurunan diversitas. Keadaan iklim semakin mendingin dan membuat beberapa jenis buaya dan amfibi purba berpindah menuju hutan yang lebih hangat. Sebaliknya, beberapa mamalia semakin mengekspansi beberapa tempat di bumi dan semakin berevolusi menjadi berukuran besar (Petersen, Dutton and Lohmann, 2016).

Ketika periode memasuki zaman kapur akhir, suhu hangat hanya terdapat pada garis khatulistiwa saja. Dinosaur seperti Tyrannosaurus, Ankylosaurus dan Triceratops mendominasi rantai makanan darat yang ada di ekuator. Mosasaurus mendominasi rantai makanan di laut menggantikan Ichthyosaurus yang sudah mulai berkurang. Tumbuhan berbunga mendominasi flora pada zaman ini. Pada akhir zaman kapur terjadi beberapa ledakan gunung

berapi yang menyebabkan udara sangat beracun. Ditambah lagi tidak lama dari peristiwa tersebut terjadi pula tabrakan meteor besar yang menyebabkan sekitar 75% kehidupan di bumi punah termasuk para dinosaurus (Petersen, Dutton and Lohmann, 2016).



Gambar 7.10. Fosil *Tyrannosaurus rex*
(Khoiri, 2022)

7.3.3 Biologi Neozoikum

Zaman neozoikum bisa disebut juga zaman Cenozoic yang berarti kehidupan baru. Zaman ini juga memiliki nama lain "*Age of Mammals*" karena fauna yang mendominasi daratan terdiri atas beberapa mamalia besar seperti jenis Eutherian di bagian bumi utara dan Metatherian yang mendiami kawasan bumi bagian selatan. Kepunahan massal dari beberapa jenis dinosaurus karnivora membuat mamalia dan burung mampu berkembang dengan baik. Pangea yang sudah terpecah juga sudah bergerak menjadi bentuk permukaan bumi seperti masa kini. Era cenozoic dibagi menjadi tiga periode yaitu Paleogene, Neogene dan Quaternary yang didalamnya terdapat tujuh zaman yaitu Paleocene, Eocene, Oligocene, Miocene, Pliocene, Pleistocene dan Holocene (Retallack *et al.*, 2004).

1. Paleogene

Era ini berlangsung dari akhir kepunahan dinosaurus non-avian (sekitar 66 juta tahun lalu) hingga awal neogene (sekitar 23,3 juta tahun lalu). Pada era ini terdapat tiga

zaman, yaitu Paleocene, Eocene dan Oligocene. Zaman paleocene menjadi saksi bagaimana bumi pulih dari ledakan meteor dan membentuk permukaan muka bumi saat ini. Flora mulai tumbuh dengan pesat dan besar karena iklim yang menghangat. Samudera dikuasai oleh beberapa jenis hiu purba dan daratan sudah tidak lagi dikuasai oleh reptil melainkan mamalia.

Memasuki zaman Eocene, suhu muka bumi yang saat itu sekitar 30°C mulai mengalami penurunan dikarenakan adanya arus yang menghubungkan laut Australia dan Antartika. Penurunan tersebut menyebabkan ukuran hutan mulai sedikit berkurang dan mamalia juga tumbuh sesuai proporsinya. Pada akhir eocene terbentuk banyak area mirip savannah yang juga diikuti evolusi rumput. Zaman Oligocene adalah zaman dimana banyak sekali mamalia baru dan berevolusi, termasuk gajah pertama, kucing, anjing dan beberapa spesies lain yang masih mampu bertahan hingga ini. Zaman ini juga disebut "*cooling period*" karena tingginya curah hujan yang menyebabkan tumbuhan juga mengalami evolusi pada zaman ini. Mamalia juga terus bertumbuh menjadi lebih besar.



Gambar 7.11. Fosil *Andrewsarchus*
(Wikipedia)

2. Neogene

Era neogene berlangsung antara 23,03 hingga 2,58 juta tahun lalu dan mempunyai dua zaman yaitu miocene dan pliocene. Zaman miocene adalah zaman dimana jenis – jenis rumput

menyebar hampir keseluruh dunia. Hutan – hutan juga mulai berevolusi sehingga menciptakan beberapa spesies baru seperti spesies kera yang berevolusi menjadi kurang lebih menjadi 30 spesies baru. Dampak lain dari evolusi hutan ini juga menghadirkan 95% tumbuhan -tumbuhan modern yang ada hingga saat ini. Sebaliknya, saat zaman pliocene iklim berubah drastis yang menyebabkan laut mediterania mengering beberapa juta tahun. Pada masa ini diperkirakan manusia purba pertama berevolusi yang kemudian disebut *Australopithecus*.



Gambar 7.12. Fossil *Australopithecus*
(Wikipedia)

3. Quarternary

Era Quaternary berlangsung dari 2,58 juta tahun lalu hingga hari ini. Zaman yang ada pada era ini yaitu Pleistocene dan Holocene. Pleistocene berlangsung dari 2,58 juta hingga 11.700 tahun lalu. Zaman ini dikenal dengan zaman es karena puncak pendinginan gunung es hasil dari masa pertengahan eocene. Akan tetapi pada benua Afrika terjadi kekeringan yang menyebabkan terbentuknya beberapa gurun seperti Sahara, Namimbia dan Kalahari. Keadaan ekologi yang sangat ekstrem menyebabkan beberapa megafauna seperti mamoth, *sabre-tooth*, slot raksasa dan manusia purba jenis *Neandethals* mengalami kepunahan. Hal tersebut terhenti ketika memasuki masa Holocene. Zaman ini juga disebut “Sejarah manusia” karena pada masa ini manusia

purba mulai menguasai bumi dan mulai melakukan berbagai aktivitas yang perlahan tapi pasti membentuk bumi hingga saat ini.



Gambar 7.13. Fossil *Smilodon populator*
(Wikipedia)

7.4 Penutup

Zoopaleontologi lebih banyak mempelajari tentang kehidupan hewan pada masa prasejarah. Dalam hal ini beberapa zaman yang sudah jelaskan pada uraian diatas. Secara garis besar jika ditinjau dari ilmu zoopaleontologi, hewan – hewan yang ada sekarang merupakan hasil evolusi berjuta – juta tahun dari hewan prasejarah seperti mamalia besar, dinosaurus maupun burung – burung besar. Ilmu ini termasuk ilmu sulit karena harus berurusan dengan organisme yang sudah punah dan hanya tersisa fosil saja. Akan tetapi, sebagai seorang biologist sesulit apapun itu ilmu harus terus ditingkatkan, termasuk mempelajari zoopaleontologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Dalziel, I.W.D. 1997. 'Neoproterozoic-paleozoic geography and tectonics: Review, hypothesis, environmental speculation', *Bulletin of the Geological Society of America*. Available at: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1997\)109<0016:ONPGAT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1997)109<0016:ONPGAT>2.3.CO;2).
- Gradstein, F.M. *et al.* 2020. *Geologic Time Scale 2020, Geologic Time Scale 2020*. Available at: <https://doi.org/10.1016/C2020-1-02369-3>.
- Henke, W. and Tattersall, I. 2015. *Handbook of paleoanthropology, second edition, Handbook of Paleoanthropology, Second Edition*. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-39979-4>.
- Mainaki, R. and Putri, A.E. 2020. 'Paleogeografi: Perkembangan Keanekaragaman Hayati Dalam Ruang Dan Waktu (Biodiversity In Time And Space)', *Jurnal Geografi, Edukasi dan Lingkungan (JGEL)*, 4(1). Available at: <https://doi.org/10.29405/jgel.v4i1.3927>.
- Munnecke, A. *et al.* 2010. 'Ordovician and Silurian sea-water chemistry, sea level, and climate: A synopsis', *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 296(3-4). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.08.001>.
- Petersen, S. V., Dutton, A. and Lohmann, K.C. 2016. 'End-Cretaceous extinction in Antarctica linked to both Deccan volcanism and meteorite impact via climate change', *Nature Communications*, 7. Available at: <https://doi.org/10.1038/ncomms12079>.
- Preto, N., Kustatscher, E. and Wignall, P.B. 2010. 'Triassic climates - State of the art and perspectives', *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 290(1-4). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.03.015>.
- Retallack, G.J. *et al.* 2004. 'Eocene-Oligocene extinction and paleoclimatic change near Eugene, Oregon', *Bulletin of the Geological Society of America*, 116(7-8). Available at: <https://doi.org/10.1130/B25281.1>.

BAB 8

NEUROLOGI HEWAN

Oleh Fandi Tuju

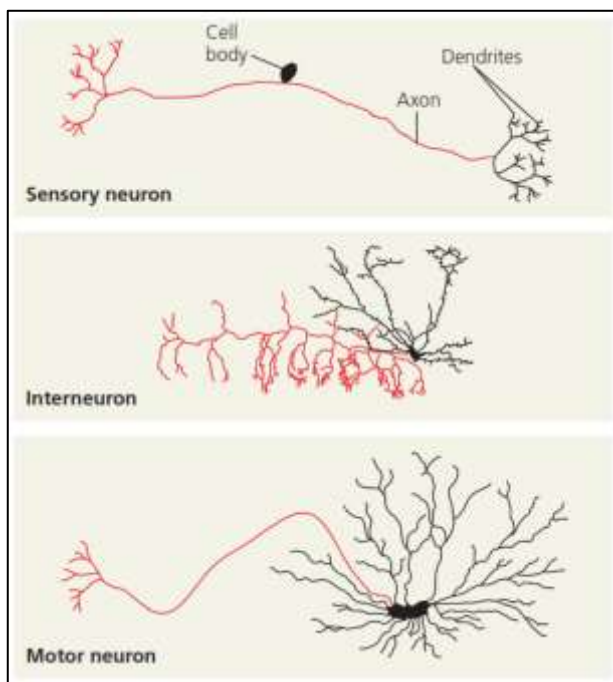
8.1 Pendahuluan

Pemahaman lebih mendalam mengenai sistem saraf tentunya harus bermula dari proses awal perkembangannya. Sistem saraf adalah sistem yang paling kompleks dari semua sistem organ dalam embrio hewan (Wolpert, Tickle and Arias, 2019). Pada mamalia, misalnya, miliaran sel saraf, atau neuron, mengembangkan pola koneksi yang sangat terorganisir, menciptakan jaringan saraf untuk membentuk otak yang berfungsi dan sistem saraf lainnya (Wolpert, Tickle and Arias, 2019). Sistem saraf pusat (SSP) vertebrata terdiri dari otak dan sumsum tulang belakang dan terbentuk dari lempeng saraf pada embrio awal. Sistem saraf tepi terdiri dari saraf kranial, tulang belakang, dan saraf otonom serta ganglia (Slack, 2013).

Otak dan sumsum tulang belakang pada vertebrata memulai perkembangannya sebagai lempengan datar sel neuroepitel yang melipat di sepanjang bagiannya untuk membentuk tabung dan proses pembentukan tabung saraf ini disebut neurulasi (Gilbert and Barresi, 2016). Embrio yang menjalani proses neurulasi disebut neurula (Sudarwati and Sutasurya, 1990). Tabung saraf, yang merupakan manifestasi morfologis dari tahap paling awal dalam pembentukan sistem saraf, adalah struktur yang paling menonjol (Carlson, 2019). Penutupan tabung saraf pertama kali terjadi di daerah di mana somit paling awal muncul; penutupan menyebar ke kranial dan ekor (Carlson, 2019). Penutupan tabung saraf ini merupakan proses penting dalam pembentukan sistem saraf pusat dan sumsum tulang belakang. Sumsum tulang belakang dan otak di masa depan dapat dikenali, dan di dalam otak, otak depan (*prosencephalon*), otak tengah (*mesencephalon*), dan otak belakang (*rhombencephalon*) dapat dibedakan (Carlson, 2019).

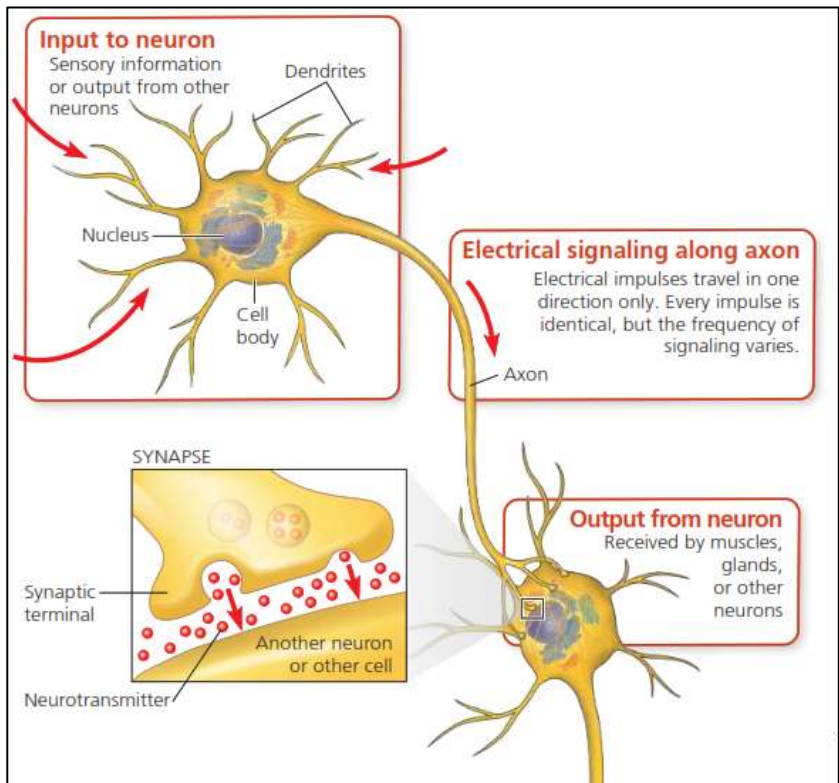
8.2 Neuron

Untuk memahami anatomi sistem saraf, kita harus mengenal neuron atau lebih dikenal dengan sel saraf. Neuron bagi sistem saraf sama seperti sel otot bagi sistem otot: neuron menjalankan fungsi spesifik sistem saraf yang dalam hal ini, neuron mentransmisikan impuls saraf (Kent and Miller, 1997). Titik awal kita untuk menjelajahi sistem saraf adalah neuron, jenis sel yang mencontohkan kesesuaian antara bentuk dan fungsi yang sering muncul selama evolusi (Urry *et al.*, 2021). Neuron merupakan unit struktural dan fungsional pada sistem saraf, yang memiliki kemampuan menanggapi rangsangan yang cukup kuat intensitasnya (rangsang *threshold*) (Wulangi, 1994). Neuron memiliki banyak bentuk, tetapi semuanya memiliki badan sel yang mengandung zat Nissl (tempat sintesis protein tinggi) dan satu atau beberapa proses (Kent and Miller, 1997).



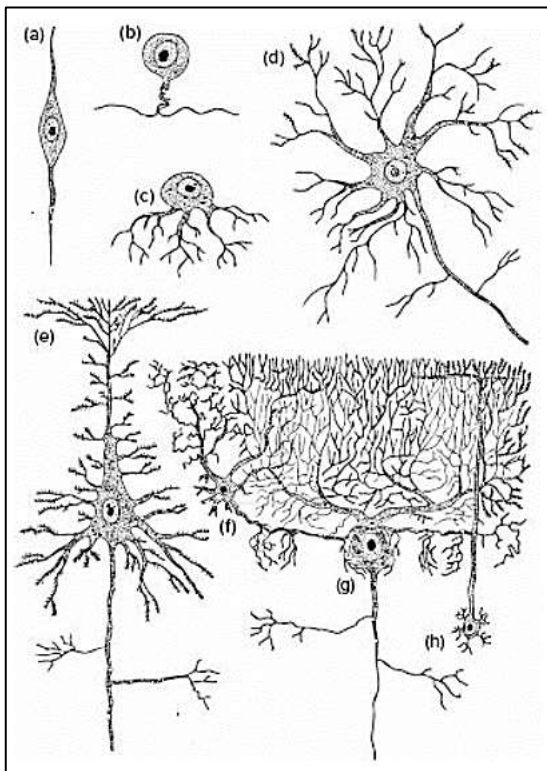
Gambar 8.1. Jenis Struktural Neuron
(Sumber : Urry *et al.*, 2021)

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.1, bentuk neuron dapat bervariasi dari yang sederhana hingga yang cukup kompleks, tergantung pada perannya dalam pemrosesan informasi (Urry *et al.*, 2021). Kemampuan neuron untuk menerima dan mengirimkan informasi didasarkan pada organisasi seluler yang sangat terspesialisasi yang ditunjukkan pada Gambar 8.2. Sebagian besar organel neuron, termasuk nukleusnya, terletak di badan sel dan pada neuron yang normal, badan sel bertabur dengan banyak ekstensi bercabang yang disebut dendrit (dari bahasa Yunani *dendron*, pohon) (Urry *et al.*, 2021). Dendrit adalah bagian pendek dari badan sel yang menyediakan area permukaan tambahan untuk menerima impuls yang masuk dari neuron lain (Kent and Miller, 1997).



Gambar 8.2. Cara Neuron Mengirimkan Informasi
(Sumber : Urry *et al.*, 2021)

Selain dendrit, salah satu bagian penting dari sel saraf adalah akson. Akson atau dikenal juga sebagai silinder sumbu (*axis cylinder*) merupakan satu ekstensi yang memanjang dari badan sel yang menghantarkan impuls saraf menjauhi badan sel (Wulangi, 1994). Akson sering kali jauh lebih panjang daripada dendrit, dan beberapa, seperti yang menjangkau dari sumsum tulang belakang jerapah ke sel-sel otot di kakinya, memiliki panjang lebih dari satu meter (Urry *et al.*, 2021). Struktur khusus akson memungkinkannya menggunakan gelombang arus listrik untuk mengirimkan informasi, bahkan dalam jarak yang jauh (Urry *et al.*, 2021). Pangkal akson yang berbentuk kerucut, yang disebut bukit akson, biasanya merupakan tempat dihasilkannya sinyal yang berjalan di sepanjang akson (Urry *et al.*, 2021).



Gambar 8.3. Jenis-jenis neuron: (a) Neuron bipolar, (b) Neuron unipolar, (c-h) Multipolar neuron
(Sumber : Kardong, 2019)

Ramon y Cajal menempatkan neuron ke dalam tiga tipe morfologi utama berdasarkan jumlah dendrit yang terhubung ke soma (dendrit primer): unipolar, bipolar, dan multipolar dan sistem klasifikasi ini dapat diterapkan secara universal pada spesies yang berbeda di seluruh evolusi (Cajal, 1995; Wang *et al.*, 2015). (Gambar 8.3)

1. **Neuron multipolar**, seperti neuron piramidal mamalia, mengembangkan lebih dari satu dendrit primer.
2. Sebaliknya, **neuron bipolar** didefinisikan memiliki satu dendrit primer yang mungkin (misalnya, sel Purkinje serebelar) atau mungkin tidak (misalnya, fotoreseptor) bercabang menjadi punjung dendritik yang rumit.
3. Akhirnya, **neuron unipolar** seperti neuron DRG pada vertebrata dan sebagian besar neuron SSP pada invertebrata memperluas neurit primer tunggal, yang biasanya bercabang menjadi cabang dendritik dan aksonal.

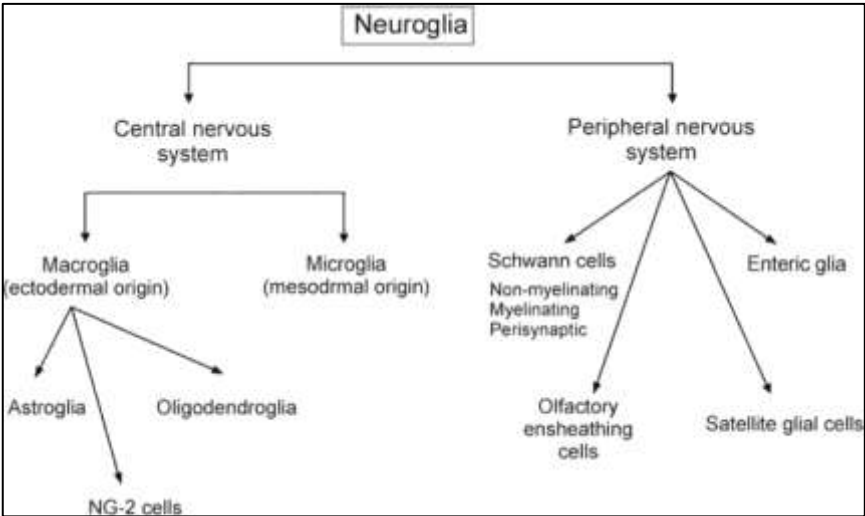
Klasifikasi neuron berdasarkan fungsinya dibedakan menjadi 3 macam, yaitu (Wulangi, 1994):

1. **Neuron sensorik** atau dikenal juga dengan neuron aferen merupakan neuron penghantar impuls dari reseptor dan membawanya menuju sistem saraf pusat.
2. **Neuron motorik** atau biasa juga disebut neuron eferen merupakan neuron penghantar impuls yang berasal dari sistem saraf pusat menuju ke efektor (misalnya, otot atau kelenjar).
3. **Neuron penghubung** (*interneuron*) biasanya terdapat pada sistem saraf pusat yang fungsinya sebagai penghantar impuls dari satu neuron ke neuron lainnya.

8.3 Neuroglia

Neuroglia mewakili beragam populasi sel non-neuron dalam sistem saraf, baik itu sistem saraf perifer, pusat, enterik, atau otonom (Verkhatsky *et al.*, 2019). Definisi neuroglia didasarkan pada fungsi fundamental mempersatukan sel-sel ini, yang mana terlepas dari asalnya, adalah homeostasis sistem saraf dimana fungsi ini sangat penting untuk konteks fisiologis, ketika sel glial melakukan

tugas rutinnya, dan juga untuk konteks patologis, ketika sel glial dapat mengalami renovasi reaktif untuk menjaga, memperbaiki, dan memulihkan homeostasis otak (Verkhratsky *et al.*, 2019). Kegagalan dalam fungsi ini mengakibatkan perkembangan penyakit neurologis dan kerusakan pada jaringan saraf, oleh karena itu, neuroglia dapat didefinisikan sebagai sel homeostasis dan pertahanan sistem saraf, yang diwakili oleh populasi sel yang sangat heterogen dengan asal, struktur, dan fungsi yang berbeda (Verkhratsky *et al.*, 2019).



Gambar 8.4. Klasifikasi neuroglia
(Sumber : Verkhratsky *et al.*, 2019)

Neuroglia (Gambar 8.4) (Verkhratsky and Butt, 2013) diklasifikasikan ke dalam glia sistem saraf perifer dan SSP. Sel-sel glial dari sistem saraf tepi berasal (mirip dengan neuron perifer) dari puncak saraf dan diklasifikasikan menjadi:

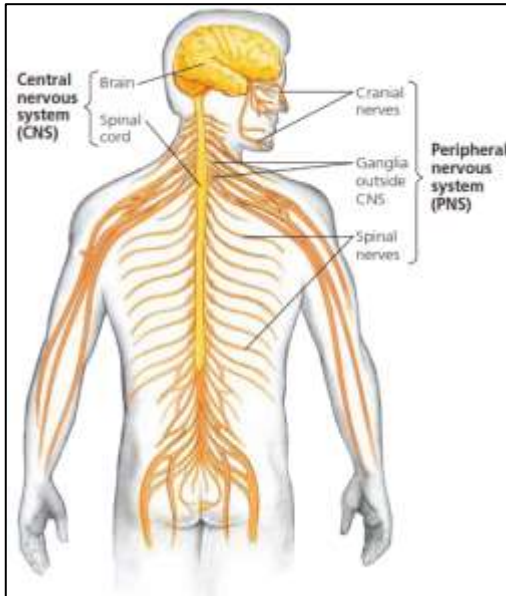
1. **Sel Schwann** (Kidd, Ohno and Trapp, 2013) terkait dengan akson sensorik, motorik, simpatis, dan parasimpatis; Sel Schwann dibagi lagi menjadi (i) sel Schwann bermyelin yang bermyelin akson perifer; (ii) sel Schwann tidak bermyelin yang mengelilingi beberapa akson tidak bermyelin dan (iii) sel Schwann perisinapsik, yang membungkus sinapsis

- perifer dan mempertahankan homeostasis di lingkungan yang perisinapsis.
2. **Sel glial satelit** (Hanani, 2005, 2010), yang mengelilingi neuron di ganglia sensorik, simpatis, dan parasimpatis. Sel glial satelit ini mengontrol homeostasis lokal dan mampu melakukan renovasi reaktif dalam patologi.
 3. **Olfactory ensheathing cells** (Ruitenberg *et al.*, 2006), yang merupakan bagian dari sistem penciuman. Sel-sel ini memperluas proses yang sangat halus yang melingkupi sejumlah besar akson penciuman yang tidak bermielin
 4. **Enteric glia** (Grubišić and Gulbransen, 2017; Grubišić *et al.*, 2018), diwakili oleh sel glial homeostasis dari sistem saraf *enteric*.

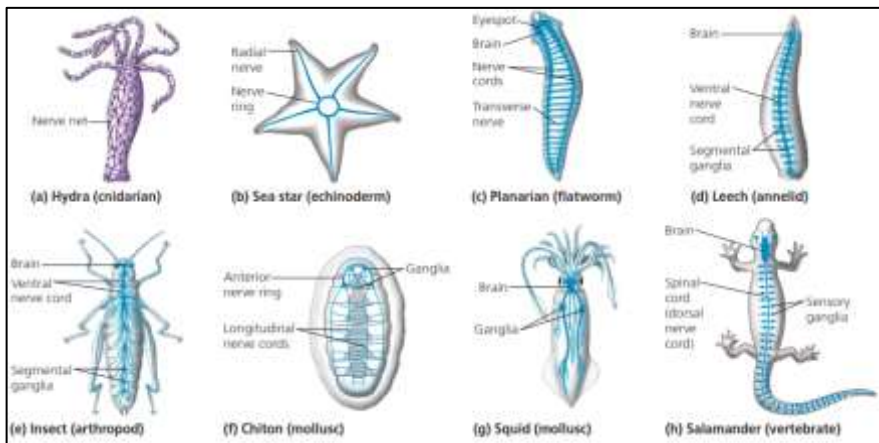
8.4 Sistem Saraf Pusat

Pada semua hewan, fungsi utama sistem saraf adalah menerjemahkan informasi sensorik dengan cepat menjadi potensial aksi (AP), yang dapat diproses (diintegrasikan) menjadi respons adaptif melalui aktivasi organ efektor (Sherwood, Klandrof and Yancey, 2011). Selama perkembangan embrio pada vertebrata, sistem saraf pusat berkembang dari tali saraf punggung yang berongga dimana merupakan sebuah ciri khas chordata (Urry *et al.*, 2021). Pada banyak hewan, neuron yang melakukan integrasi membentuk sistem saraf pusat (SSP) (Gambar 8.5), dan neuron yang membawa informasi ke dalam dan ke luar SSP membentuk sistem saraf tepi (PNS) (Urry *et al.*, 2021).

Pada cacing yang tidak bersegmen, seperti planaria pada Gambar 8.5c, otak kecil dan tali saraf longitudinal merupakan SSP yang paling sederhana dan paling jelas. Pada cacing nonsegmental tertentu, seluruh sistem saraf dibangun hanya dari sejumlah kecil sel, seperti pada kasus nematoda *Caenorhabditis elegans* (Urry *et al.*, 2021). Pada spesies ini, cacing dewasa (hermaprodit) memiliki tepat 302 neuron, tidak lebih dan tidak kurang. Invertebrata yang lebih kompleks, seperti cacing bersegmen (Gambar 8.6.d) dan artropoda (Gambar 8.6e), memiliki lebih banyak neuron (Urry *et al.*, 2021).



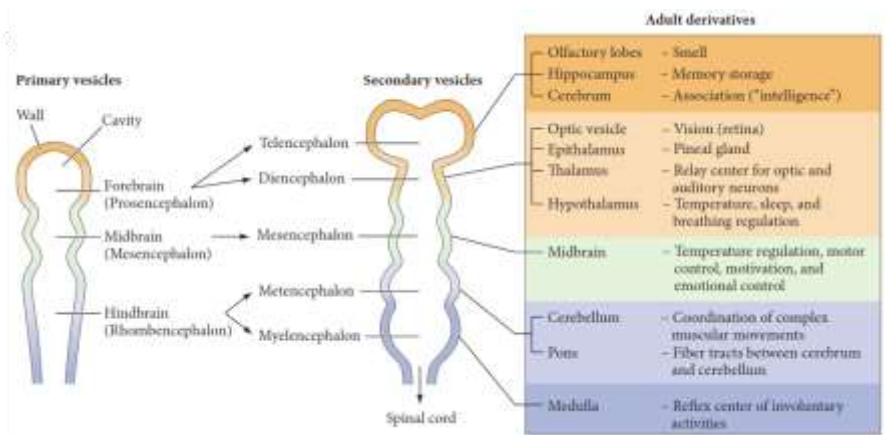
Gambar 8.5. Sistem Saraf Vertebrata
(Sumber : Urry *et al.*, 2021)



Gambar 8.6. Organisasi sistem saraf. (a) Seekor hydra mengandung neuron individu (ungu) yang terorganisir dalam jaringan saraf yang menyebar. (b-h) Hewan dengan sistem saraf yang lebih canggih mengandung kelompok neuron (biru) yang terorganisir dalam saraf dan sering kali ganglia dan otak
(Sumber : Urry *et al.*, 2021)

8.4.1 Otak

Ujung kranial tabung saraf embrio awal semua vertebrata dari ikan hingga manusia menunjukkan tiga vesikula otak utama, yaitu prosencephalon (nantinya menjadi otak depan), mesencephalon (nantinya menjadi otak tengah), dan rhombencephalon (nantinya menjadi otak belakang) (Kent and Miller, 1997). Rhombencephalon adalah nama yang diberikan untuk bentuknya. vesikula primer segera berdiferensiasi untuk membentuk bagian dari lima subdivisi utama otak orang dewasa: telencephalon, diencephalon, mesencephalon, metencephalon, dan myelencephalon (Gambar 8.7) (Kent and Miller, 1997).

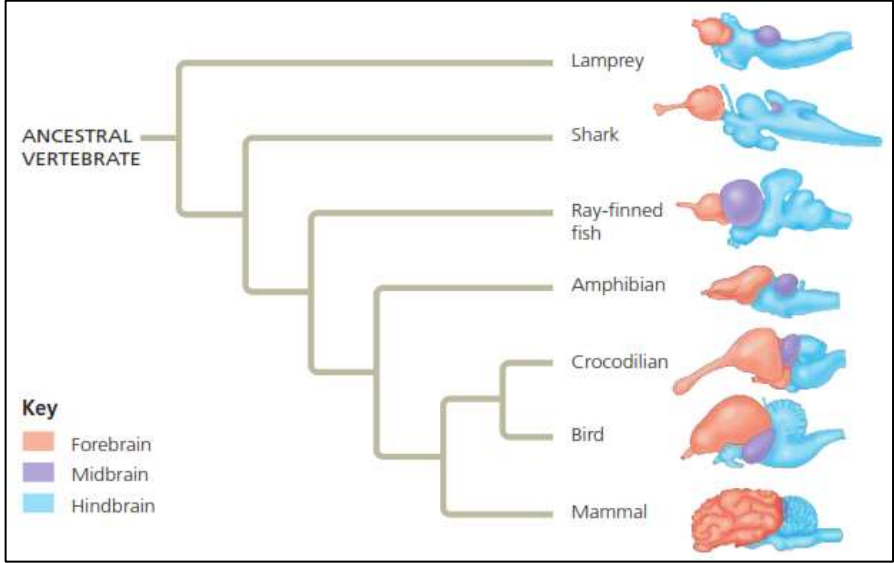


Gambar 8.7. Proses pembentukan otak pada proses neurulasi
(Sumber : Gilbert and Barresi, 2016)

Setiap wilayah memiliki fungsi khusus. Otak depan, yang berisi bola penciuman dan otak besar, memiliki aktivitas yang mencakup pemrosesan input penciuman (bau), pengaturan tidur, pembelajaran, dan pemrosesan kompleks apa pun. Otak tengah, yang terletak di bagian tengah otak, mengoordinasikan rute input sensorik. Otak belakang, bagian yang membentuk otak kecil, mengontrol aktivitas yang tidak disengaja, seperti sirkulasi darah, dan mengoordinasikan aktivitas motorik, seperti gerakan (Urry *et al.*, 2021).

Dengan membandingkan vertebrata di seluruh pohon filogenetik, kita melihat bahwa ukuran relatif daerah otak tertentu

bervariasi (Gambar 8.8) (Urry *et al.*, 2021). Lebih jauh lagi, perbedaan ukuran ini mencerminkan perbedaan dalam hal pentingnya fungsi otak tertentu.



Gambar 8.8. Struktur dan evolusi otak vertebrata
(Sumber : Urry *et al.*, 2021)

Jika kita membandingkan burung dan mamalia dengan kelompok yang menyimpang dari nenek moyang vertebrata yang sama pada awal evolusi, maka akan terlihat dua kecenderungan (Urry *et al.*, 2021).

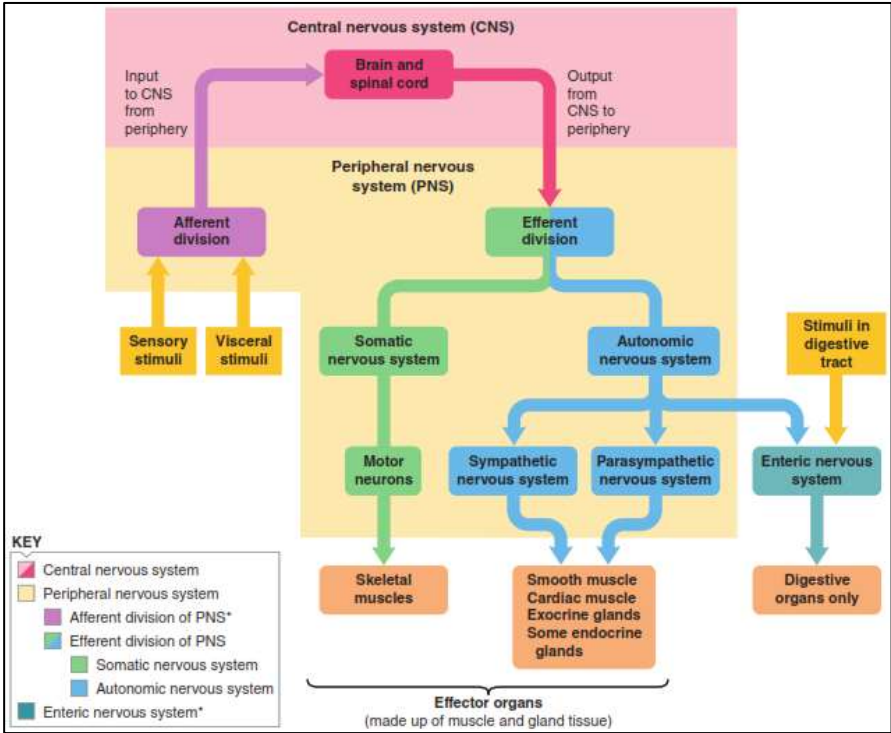
1. Pertama, otak depan burung dan mamalia menempati bagian otak yang lebih besar dibandingkan otak amfibi, ikan, dan vertebrata lainnya.
2. Kedua, burung dan mamalia memiliki otak yang jauh lebih besar dibandingkan dengan ukuran tubuh dibandingkan kelompok lain.

Memang benar, rasio ukuran otak terhadap berat badan burung dan mamalia sepuluh kali lebih besar dibandingkan rasio nenek moyang evolusioner mereka (Urry *et al.*, 2021). Perbedaan-perbedaan dalam ukuran otak keseluruhan dan ukuran relatif otak

depan mencerminkan kapasitas burung dan mamalia yang lebih besar dalam kognisi dan penalaran tingkat tinggi (Urry *et al.*, 2021).

8.4.2 Sumsum Tulang Belakang (*Spinal Cord*)

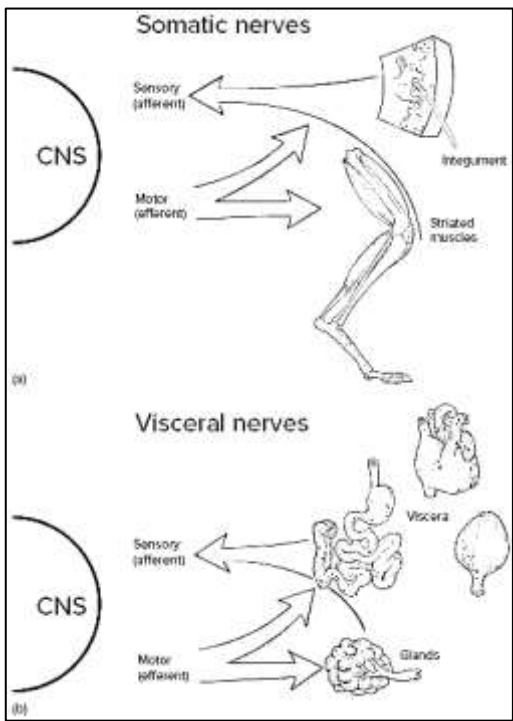
Sumsum tulang belakang menempati kanal tulang belakang yang dibentuk oleh pusat tulang belakang dan lengkung saraf yang berurutan (Kent and Miller, 1997). Sumsum tulang belakang berbentuk pipih pada agnatha tetapi cenderung membulat atau berbentuk segi empat pada tetrapoda yang lebih tinggi (Kent and Miller, 1997). Secara umum, sumsum tulang belakang relatif besar pada vertebrata yang lebih rendah, lebih sempit, atau bahkan terhalang pada beberapa tingkat pada mamalia (Kent and Miller, 1997).



Gambar 8.9. Organisasi sistem saraf vertebrata. Saraf aferen berjalan di dalam saraf yang sama dengan saraf eferen, tetapi dalam arah yang berlawanan (Sumber : Urry *et al.*, 2021)

8.5 Sistem Saraf Perifer

Istilah yang digunakan untuk menggambarkan komponen sistem saraf tepi mengacu pada sifat anatomi atau fungsional saraf (Gambar 8.9) (Kardong, 2019). Sistem saraf perifer mentransmisikan informasi ke dan dari SSP dan berperan besar dalam mengatur pergerakan hewan dan lingkungan internalnya (Gambar 8.10) (Urry *et al*, 2021). Sistem saraf perifer dibagi lagi menjadi divisi aferen dan eferen. Divisi aferen membawa informasi dari sensor ke SSP, menilai lingkungan eksternal dan memberikan laporan status pada aktivitas internal yang diatur oleh sistem saraf. Divisi eferen mentransmisikan instruksi dari SSP ke efektor organ- otot, kelenjar, dan organ lain yang melaksanakan perintah untuk menghasilkan tindakan yang diinginkan. Sistem saraf eferen pada dasarnya memiliki dua atau tiga komponen (Gambar 8.10) (Sherwood, Klandrof and Yancey, 2011):



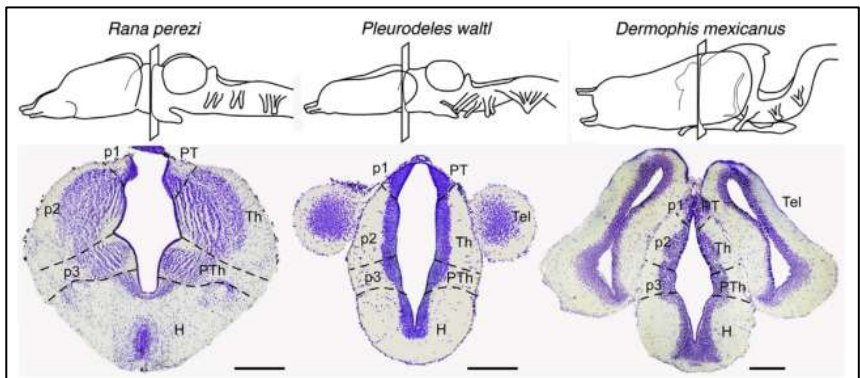
Gambar 8.10. Kategori fungsional neuron pada sistem saraf perifer
(Sumber : Kardong, 2019)

8.6 Sistem Saraf pada Vertebrata

8.6.1 Ikan

Otak besar ikan terdiri dari area sensorik dan asosiasi primitif yang menerima dan memproses input dari epitel penciuman dan pada tingkat yang lebih tinggi dari talamus; dan area motorik, globus pallidus subpallialis, yang menerima proyeksi dari pallium dan talamus serta memproyeksikan serabut eferen ke dalam traktus dorsalis yang menginervasi inti motorik saraf kranial dan tulang belakang (Kent and Miller, 1997). Pada dasarnya, sistem saraf pada ikan memiliki fungsi sebagai penerima impuls dari lingkungan sekitar yang selanjutnya diproses untuk menghasilkan respon terhadap rangsangan; berfungsi juga dalam pengaturan kinerja organ serta sistem organ ikan, misalnya sistem pergerakan ikan, sistem pencernaan, sistem sirkulasi, pengaturan keseimbangan dan koordinasi otot dan saraf, juga dapat mengatur pertumbuhan, sistem reproduksi, metabolisme, integrasi dengan endokrin dan dalam pengontrolan regulasi osmotik (Bshary, Gingins and Vail, 2014; Fikri *et al.*, 2021).

8.6.2 Amfibi



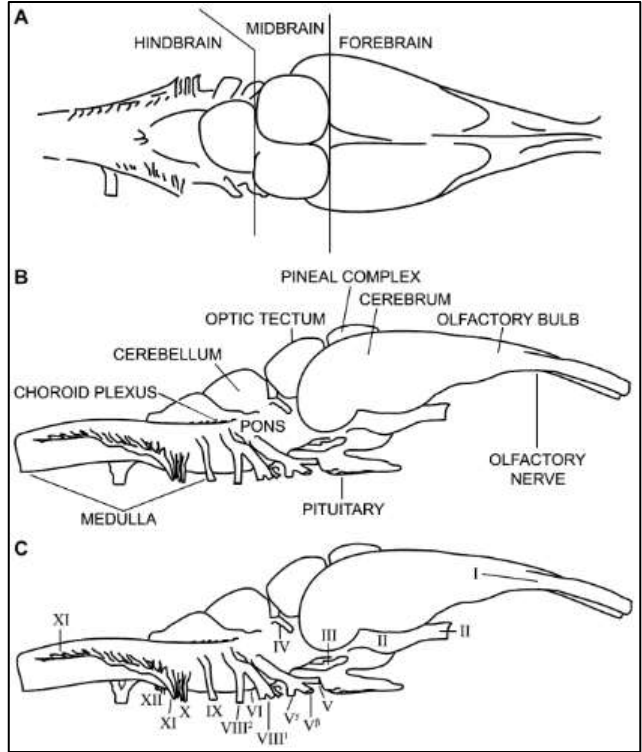
Gambar 8.11. Gambar skematik otak spesies perwakilan dari tiga ordo amfibi

(Sumber : González *et al.*, 2016)

Amfibi sering dipilih sebagai hewan percobaan dalam penelitian otak untuk studi perbandingan dimana merupakan

hewan bertulang belakang tetrapoda yang mewakili model kunci untuk memahami transisi air ke darat dan pada amfibi, ciri-ciri dasar organisasi otak pada amniota dapat dikenali (González *et al.*, 2016). Amfibi memiliki otak yang relatif sederhana, tetapi susunan neuron dan sistem saraf yang sederhana di otak mereka tampaknya mengandung semua fitur struktural utama otak amfibi. Semua wilayah utama otak vertebrata dapat dengan mudah dikenali pada amfibi, meskipun beberapa menunjukkan perkembangan yang terbatas dan yang lainnya telah diperluas sebagai spesialisasi evolusioner. Otak amfibi memanjang dengan hanya sedikit lekukan, kecuali pada gymnophion, yang menunjukkan pembengkokan tajam pada sumbu longitudinal di batang otak (González *et al.*, 2016) (Gambar 8.12).

8.6.3 Reptil



Gambar 8.12. Struktur kasar otak reptil
(Sumber : Wyneken, 2007)

Sistem saraf reptil memiliki struktur yang cukup sederhana, namun memungkinkan keragaman fungsional yang besar dalam perilaku spesifik spesies dan adaptasi terhadap berbagai relung. Meskipun ada sejumlah spesialisasi sistem saraf dari berbagai spesies reptil, sistem ini lebih mirip di antara taksa reptil daripada berbeda. Di atas kemiripan morfologi dan fungsional ini, terdapat beberapa variasi penting yang mencerminkan perbedaan struktur tubuh dan sejarah evolusi di antara kura-kura, ular, kadal, buaya, dan tuatara (Wyneken, 2007).

Sistem saraf pusat (SSP) reptil mencakup otak dan sumsum tulang belakang yang terorganisir secara linier (Gambar 8.12). Sistem saraf perifer (PNS) mencakup semua jaringan dan struktur saraf di luar SSP. Seperti pada vertebrata lain, akson yang berjalan bersama di SSP adalah saluran saraf, dan akson di PNS adalah saraf (Wyneken, 2007).

8.6.4 Aves

Sistem saraf aves dapat dibagi menjadi sistem saraf pusat yang terdiri dari otak dan sumsum tulang belakang, serta sistem saraf tepi yang meliputi saraf kranial dan tulang belakang, ganglia dan pleksus, serta bagian perifer sistem saraf otonom (Parker, 1993). Mata burung, dan terutama burung pemangsa seperti elang, memiliki spesialisasi yang unik, dan input sensorik melalui saraf optik sangat kompleks (Kent and Miller, 1997).

8.6.5 Mamalia

Sistem saraf mamalia memberikan kontrol penting terhadap banyak proses fisiologis dalam organisme dan dengan sendirinya dikontrol secara ekstensif oleh berbagai mekanisme pengaturan genetik (Zeng, 2009). Contohnya sistem saraf pusat (SSP) primata lebih kompleks dibandingkan dengan SSP mamalia lainnya. Salah satu karakteristik SSP primata adalah perluasan neokorteks, dan khususnya korteks asosiasi, seperti korteks prefrontal, korteks temporal, dan korteks parietal. Alasan perluasan neokorteks pada primata mungkin karena korteks asosiasi penting untuk fungsi otak yang lebih tinggi, seperti pembelajaran dan memori (Rapoport, 1990; Hayashi, 1996).

DAFTAR PUSTAKA

- Bshary, R., Gingsins, S. and Vail, A.L. 2014. 'Social cognition in fishes', *Trends in Cognitive Sciences*, 18(9), pp. 465–471. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.04.005>.
- Cajal, R. y. 1995. *Histology of the Nervous System of Man and Vertebrates*. Cary,NC: OUP.
- Carlson, B.M. 2019. *Human Embryology and Developmental Biology*. Sixth Edition. St. Louis: Elsevier, Inc.
- Fikri, M. *et al.* 2021. 'Sistem saraf dan sistem endokrin ikan', (63), pp. 1–13.
- Gilbert, S.F. and Barresi, M.J.F. 2016. *Developmental Biology*. Eleventh Edition. Sunderland: Sinauer Associates, Inc.
- González, A. *et al.* 2016. 'The Organization of the Central Nervous System of Amphibians', *Evolution of Nervous Systems: Second Edition*, 1–4, pp. 141–170. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804042-3.00005-1>.
- Grubišić, V. *et al.* 2018. 'Enteric glia regulate gut motility in health and disease', *Brain Research Bulletin*, 136, pp. 109–117. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2017.03.011>.
- Grubišić, V. and Gulbransen, B.D. 2017. 'Enteric glia: the most alimentary of all glia', *The Journal of Physiology*, 595(2), pp. 557–570. Available at: <https://doi.org/10.1113/JP271021>.
- Hanani, M. 2005. 'Satellite glial cells in sensory ganglia: from form to function', *Brain Research Reviews*, 48(3), pp. 457–476. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2004.09.001>.
- Hanani, M. 2010. 'Satellite glial cells in sympathetic and parasympathetic ganglia: In search of function', *Brain Research Reviews*, 64(2), pp. 304–327. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2010.04.009>.
- Hayashi, M. 1996. 'Neurotrophins and the primate central nervous system: A minireview', *Neurochemical Research*, 21(7), pp. 739–747. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF02532295>.

- Kardong, K. V. 2019. *Vertebrates: Comparative Anatomy, Function, Evolution*. Eight Edition. New York: McGraw-Hill Education.
- Kent, G.C. and Miller, L. 1997. *Comparative Anatomy of the Vertebrates*. Eight Edition. Dubuque: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Kidd, G.J., Ohno, N. and Trapp, B.D. 2013. 'Biology of Schwann cells', in, pp. 55–79. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52902-2.00005-9>.
- Parker, M.G. 1993. 'Avian Neurological Examination : A Review'.
- Rapoport, S.I. 1990. 'Integrated phylogeny of the primate brain, with special reference to humans and their diseases', *Brain Research Reviews*, 15(3), pp. 267–294. Available at: [https://doi.org/10.1016/0165-0173\(90\)90004-8](https://doi.org/10.1016/0165-0173(90)90004-8).
- Ruitenbergh, M.J. *et al.* 2006. 'Olfactory Ensheathing Cells: Characteristics, Genetic Engineering, and Therapeutic Potential', *Journal of Neurotrauma*, 23(3–4), pp. 468–478. Available at: <https://doi.org/10.1089/neu.2006.23.468>.
- Sherwood, L., Klandorf, H. and Yancey, P.H. 2011/]. *Animal Physiology*. Second Edi. Belmont: Brooks/Cole, Cengage Learning.
- Slack, J.M.W. 2013. *Essential Developmental Biology*. Third Edition. Chichester: A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- Sudarwati, S. and Sutasurya, L.A. 1990. *Dasar-Dasar Struktur dan Perkembangan Hewan*. Bandung: FMIPA Institut Teknologi Bandung.
- Urry, L.A. *et al.* 2021. *Campbell Biology*. Twelfth Edition. New York: Pearson Education, Inc.
- Verkhatsky, A. *et al.* 2019. 'The Concept of Neuroglia', in, pp. 1–13. Available at: https://doi.org/10.1007/978-981-13-9913-8_1.
- Verkhatsky, A. and Butt, A. 2013. *Glial Physiology and Pathophysiology*. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Wang, X. *et al.* 2015. 'The Krüppel-Like Factor Dar1 Determines Multipolar Neuron Morphology', *The Journal of Neuroscience*, 35(42), pp. 14251–14259. Available at: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1610-15.2015>.

- Wolpert, L., Tickle, C. and Arias, A.M. 2019. *Principles of Developmental*. Sixth Edition. Oxford: Oxford University.
- Wulangi, K.S. 1994. *Neurofisiologi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Wyneken, J. 2007. 'Reptilian Neurology: Anatomy and Function', *Veterinary Clinics of North America - Exotic Animal Practice*, 10(3), pp. 837–853. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2007.05.004>.
- Zeng, Y. 2009. 'Regulation of the mammalian nervous system by MicroRNAs', *Molecular Pharmacology*, 75(2), pp. 259–264. Available at: <https://doi.org/10.1124/mol.108.052118>.

BAB 9

GENETIKA HEWAN

Oleh Rizka Hasanah

9.1 Pendahuluan

Apakah kamu pernah berpikir bahwa setiap makhluk hidup mempunyai karakteristik khas sehingga berbeda satu sama lain? Hewan, tumbuhan dan manusia memiliki bentuk, ukuran, dan warna yang berbeda. Mengapa anak kembar memiliki bentuk wajah dan ciri yang identik dengan orang tua ? Semua makhluk hidup mempunyai kemampuan dasar yaitu mewariskan ciri-ciri fisik atau ciri-ciri tubuh kepada keturunannya melalui perkawinan yang bertujuan untuk menjaga kelangsungan spesies.

Genetika berasal dari bahasa Latin “genos” artinya asal mula peristiwa. Genetika adalah salah satu cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang hereditas, variasi, persamaan dan perbedaan sifat genetik suatu makhluk hidup, mekanisme materi genetik dan peranan materi genetik (Sutarno, 2016). Genetika berhubungan dengan disiplin ilmu lain seperti biokimia, biofisika, biologi sel, matematika, mikrobiologi, biologi populasi, ekologi, pertanian, dan kedokteran.

Konsep genetika dalam perkembangan sekarang ini berbeda dengan konsep genetika yang selama ini dipahami banyak orang, dalam artian genetika tidak hanya mempelajari pewarisan sifat saja tetapi sudah menjadi konsep dasar bagi perkembangan ilmu-ilmu lainnya. Ahli genetika fokus pada organisme model untuk mengidentifikasi prinsip-prinsip ilmiah yang dapat diterapkan secara lebih luas pada spesies lain. Genetika selama ini telah menunjukkan banyak manfaat bagi manusia di berbagai bidang keilmuan seperti peternakan, kedokteran dan pertanian (Wirjosoemarto, 2016). Studi genetika secara tradisional dibagi menjadi tiga bidang yaitu transmisi, molekuler, dan genetika populasi. Ketiga bidang tersebut akan saling tumpang tindih dalam mempelajari Genetika (Brooker, 2017).

9.2 Pewarisan Keturunan Menurut Hukum Mendel

Gregor Johann Mendel (1822-1884) adalah seorang biarawan dari Austria. Dia dibesarkan di sebuah peternakan kecil di Hyncice (sebelumnya Heinzendorf) di Moravia utara, yang kemudian menjadi bagian dari Austria. Mendel dikenal sebagai pelopor genetika. Kejadian ini bermula sejak Mendel melakukan pengamatan di kebunnya melalui tanaman kacang kapri (*Picus sativum*).



Gambar 9.1. Gregor Mendel (1822-1884)
(Sumber : James King-Holmes/Science Source)

Mendel menggunakan kacang kapri dengan dua alasan, pertama : tanaman kacang kapri mudah dirawat dan dapat melakukan penyerbukan sendiri secara alami. Alasan lain yang dikemukakan Mendel adalah tanaman kacang kapri mempunyai ciri-ciri yang sangat berbeda, seperti bunganya yang mudah dibedakan antara warna ungu dan putih. Keunggulan lainnya, kacang kapri dapat melakukan penyerbukan sendiri, dan penyerbukan silang dengan bantuan manusia karena memiliki bunga sempurna, yaitu bunga yang mempunyai alat kelamin jantan dan betina. Terlebih lagi, kacang kapri memiliki siklus hidup yang relatif pendek serta mudah ditanam, dirawat dan bersifat diploid (memiliki dua set kromosom) (Griffits *et al.*, 2015; Arumingtyas, 2016; Brooker, 2017).

9.2.1 Hukum Mendel 1 : Segregasi

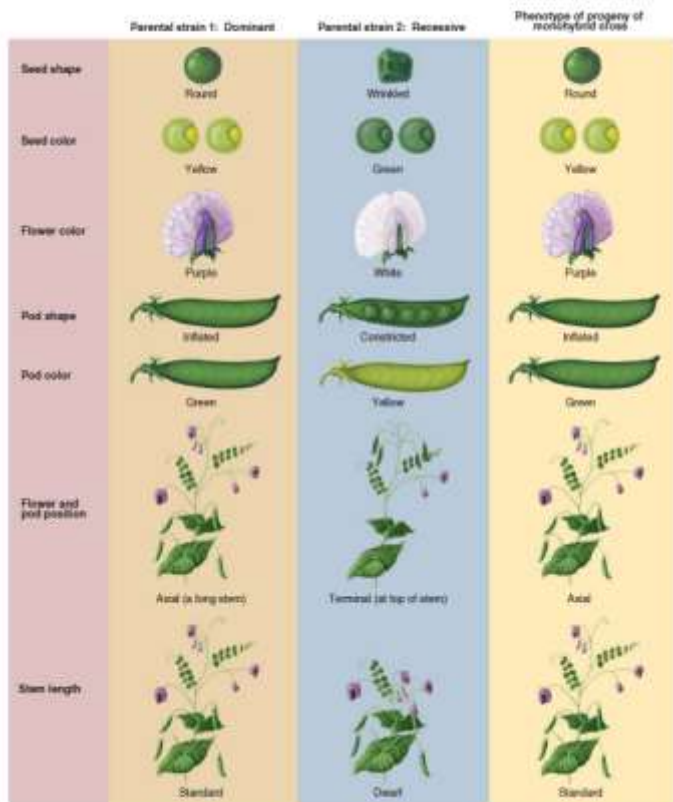
Bagaimana Mendel sampai pada temuan mengenai segregasi? Mendel melakukan banyak eksperimen. Ada beberapa istilah terkait studi Mendel. Suatu persilangan monohibrid adalah persilangan antara dua tanaman induk yang berbeda dalam hal satu karakteristik saja. Tentu ini merupakan galur murni yang sudah diseleksi oleh Mendel. Persilangan antara dua galur murni ini menghasilkan F1.

Mendel mengamati tujuh pasang sifat berlawanan pada kacang kapri (*Pisum sativum*) (Gambar 9.2). Ketujuh sifat yang diamati Mendel adalah bentuk dan warna biji, bentuk dan warna polong, warna dan posisi bunga pada tangkai, serta tinggi tanaman. Kunci keberhasilan Mendel adalah penggunaan organisme yang tepat, batasan percobaan pada satu atau sangat sedikit pasangan sifat berlawanan untuk setiap eksperimen dan catatan kuantitatif yang akurat.

Mendel mengembangkan empat hipotesis dari persilangan monohibrid :

1. Ada bentuk-bentuk alternatif gen, sekarang disebut alel
2. Untuk setiap karakteristik, setiap organisme memiliki dua gen
3. Gamet hanya membawa satu alel untuk masing-masing mewarisi karakteristik
4. Alel dapat menjadi dominan dan resesif

Sifat-sifat dominan adalah sifat-sifat eksklusif yang muncul pada generasi F1. Sifat resesif merupakan ciri-ciri yang tersembunyi atau disembunyikan pada generasi F1. Alel berbagai alternatif bentuk gen, setiap individu diploid memiliki dua, masing-masing gamet memiliki satu alel setiap gen, gamet masuk dalam proses fertilisasi menyatukan alel dari tetua jantan dan betina membentuk pasangan. **Genotipe** adalah gen yang sebenarnya dipunyai setiap individu atau alel-alel dari setiap individu terkandung dalam genomnya. **Fenotip** adalah penampilan fisik atau kegiatan biokimia yang disebabkan oleh suatu genotipe (Griffits *et al.*, 2015; Brooker, 2017).

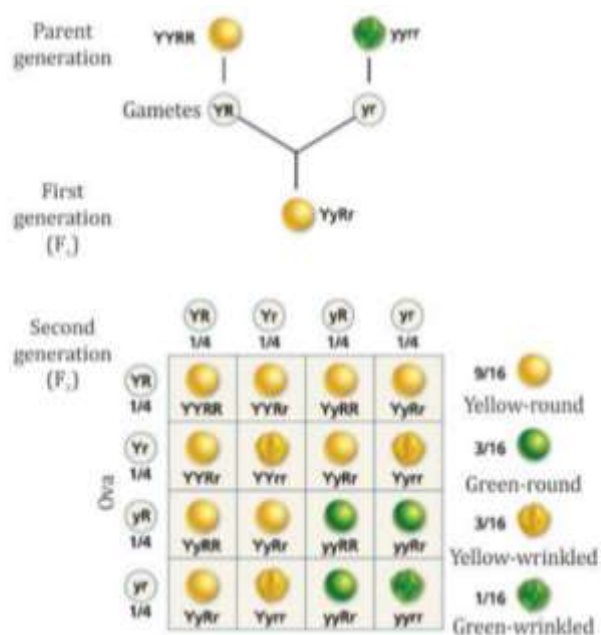


Gambar 9.2. Tujuh perbedaan karakter pada kacang polong dipelajari oleh Mendel. Karakter yang dianggap dominan adalah sifat yang muncul dalam hibrida yang dihasilkan dari persilangan. (Sumber : Brooker, 2017)

9.2.2 Hukum Mendel II : Berpasangan secara bebas

Persilangan dihibrid adalah persilangan antara dua individu yang memiliki dua sifat yang saling berlawanan. Persilangan dihibrid Mendel menghasilkan rasio F₂ yang unik, yaitu 9:3:3:1 (Gambar 9.3). Peluang ini didapatkan melalui persilangan sendiri dari F₁ hasil persilangan tetua yang memiliki kombinasi sifat yang saling berlawanan (misal, Parental R₂Y₂ dan r₂y₂, F₁ semua RrYy). Rasio 9:3:3:1 juga menunjukkan kombinasi peluang dari setiap fenotipe F₂ untuk dua karakter individual yang diwariskan. Dalam hal ini, peluang dari masing-masing tanaman berwarna kuning atau

hijau terhadap biji bulat atau keriput. Dari hasil percobaan ini, Mendel mendapatkan postulat keempatnya, yaitu selama pembentukan gamet, pasangan-pasangan dari faktor-faktor unit yang bersegregasi berpasangan secara bebas satu sama lain. Dengan kata lain, semua kemungkinan kombinasi gamet seharusnya terbentuk dengan frekuensi yang sama (Brooker, 2017).



Gambar 9.3. Persilangan dihibrid untuk dua sifat yang saling berlawanan. Berbeda dengan persilangan monohibrid, rasio fenotip anakan pada generasi F2 adalah 9:3:3:1 dengan kombinasi dari semua sifat yang diamati. (Sumber : Brooker, 2017)

9.3 Genetika Pada Hewan

9.3.1 Dasar Fisiologi Pewarisan Sifat

Pewarisan sifat diturunkan dari inti sel (nukleus) yang di dalamnya terdapat kromosom dan sel. Kromosom berbentuk seperti untaian yang mengandung unit pewarisan sifat yang disebut gen dan memiliki bagian sentral (sentromer). Berdasarkan posisi sentromernya, kromosom dibedakan menjadi :

1. Metasentrik : sentromer yang terletak di tengah-tengah kromosom
2. Submetasentrik : sentromer yang terletak agak di pinggir kromosom
3. Akrosentrik : sentromer terletak di dekat ujung kromosom
4. Telesentrik : sentromer terletak di ujung kromosom

Hewan memiliki jumlah kromosom yang berbeda antar spesies. Jumlah kromosom berperan penting dalam kelangsungan hidup spesies, kelebihan dan kekurangan kromosom dapat menyebabkan kelainan atau fatal bagi hewan. Jumlah kromosom sel diploid pada beberapa spesies hewan dipaparkan pada Tabel 9.1 berikut:

Tabel 9.1. Jumlah pasang kromosom pada beberapa hewan

Spesies	Jumlah kromosom	Spesies	Jumlah kromosom
Babi	38	Bison	60
Kucing	38	Sapi	60
Tikus	40	Kambing	60
Kelinci	44	Keledai	62
Manusia	46	Kuda	64
Domba	54	Anjing	78
Monyet	42	Ayam	78
Primata Owa	44	Simphalangus	52

Sumber : (Noor, 2010)

9.3.2 Kromosom Seks dan Penentuan Jenis Kelamin

Pada makhluk hidup terdapat sepasang kromosom penentu jenis kelamin, yaitu kromosom seks X dan Y. Betina mempunyai sepasang kromosom yang disebut XX (homogamet) sedangkan jantan mempunyai satu kromosom X dan satu kromosom Y (heterogametik). Kromosom seks menentukan jenis kelamin. Jika gamet X jantan bergabung dengan gamet X betina, maka anak yang dihasilkan akan berjenis kelamin betina (XX). Jika gamet Y jantan bertemu dengan gamet X betina, maka anak yang dihasilkan adalah jantan / laki-laki (XY). Selain mengandung gen yang menentukan

jenis kelamin, kromosom seks juga mengatur gen terkait seks (Noor, 2010).

Tabel 9.2. Sifat-sifat terpaut kelamin pada unggas dan mamalia

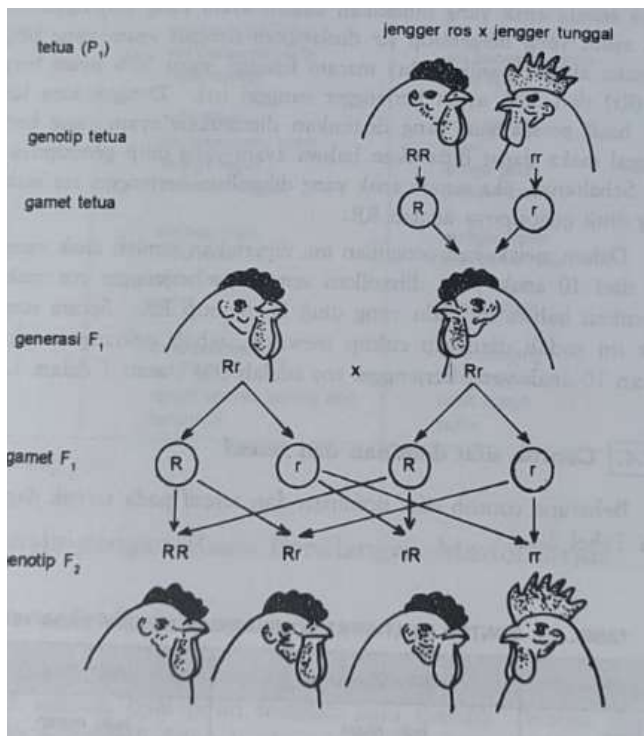
Spesies	Sifat	Cara Pewarisan
Manusia	Buta warna Hemofilia A	Resesif Resesif
Anjing	Hemofilia	Resesif
Kucing	Pola bulu <i>tortoishell</i>	<i>Intermediate</i> antara sel kuning dan alel bukan kuning
Ayam	Pola bulu lurik Warna bulu keemasan Pertumbuhan bulu cepat	Dominan Dominan untuk keperakan resesif
Burung dara	Warna kepala krem	Kodominan antara alel
Burung kenari	Warna bulu hijau	Dominan untuk hijau

Sumber : (Noor, 2010)

9.3.3 Persilangan Monohibrid pada Hewan

Ayam *white leghorn* memiliki jengger tunggal (single comb, genotip rr) yang disilangkan dengan *wyandotte* memiliki jengger berbentuk ros (rose comb genotip RR). Bentuk jengger ros dominan terhadap bentuk jengger tunggal. Jika kedua jenis ayam ini disilangkan maka semua anaknya berjengger ros (Genotip Rr). Persilangan antar bibit murni di atas disebut persilangan parental (P1), sedangkan anak yang heterozigot disebut keturunan pertama (F1 = filial pertama). Jika keturunan pertama disilangkan sesama, maka akan dihasilkan $\frac{3}{4}$ ayam berjengger ros dan $\frac{1}{4}$ ayam berjengger tunggal. Hasil persilangan antar turunan pertama (F1) disebut F2 (Noor, 2010).

Persilangan monohibrid ini menjelaskan bahwa terdapat pewarisan keturunan dari induk kepada anak dengan mewariskan satu sifat beda.



Gambar 9.4. Genotipe dan fenotip pada generasi F₁ dan F₂ yang dihasilkan dari persilangan ayam berjengger tunggal homozigot dengan ras yang berjengger ros homozigot.
(Sumber: (Noor, 2010))

Hasil F₂ ditentukan oleh adanya sifat dominan dan resesif pada hewan (Tabel 9.3).

Tabel 9.3. Sifat Dominan dan Resesif pada Hewan

Spesies	Sifat Dominan	Sifat Resesif
Kucing	Bulu pendek Bulu hitam Agauti (warna kucing liar) berwarna	Bulu panjang Bulu cokelat Tidak agauti putih
Ayam	Jengger ros Kulit putih Putih dominan	Jengger tunggal Kulit kuning Berwarna

Spesies	Sifat Dominan	Sifat Resesif
	Bulu berwarna Jengger pea Shank berbulu Bulu hitam	Putih resesif Jengger tunggal Shank tidak berbulu Bulu merah
Kuda	Bulu hitam Bay Bulu lurus	Chesnut atau sorrel Hitam Keriting
Domba	Wol bercampur bulu Wol berwarna putih Mata coklat	Wol tidak berbulu Wol berwarna hitam Mata biru
Sapi	Bulu hitam Tidak bertanduk Muka putih Polos Merah Kuku Berbelah	Bulu merah Bertanduk Muka polos Bercak putih Kuning Kuku tunggal

Sumber : (Noor, 2010)

Pada hewan ruminansia, seperti pada semua mamalia, empat gen menentukan warna bulu: gen Ekstensi, Agouti, Roan, dan gen pengenceran. Gen ekstensi menentukan warna pigmen suatu hewan. Alel dominan E bertanggung jawab atas produksi eumenalin pada sel bulu hewan berwarna hitam dan alel resesif e untuk phaeomelanin bertanggung jawab atas warna merah pada hewan. Alel ketiga bertanggung jawab atas fenotip liar (merah dengan garis belakang terang).

Dalam persilangan monohibrida, tidak semuanya berjalan sesuai dengan perhitungan persilangan Mendel yang seharusnya, ada yang disebut dengan penyimpangan. Contohnya yang terjadi pada sapi shortorn yang memiliki tiga warna yaitu merah, putih dan roan/abu-abu (warna yang tumbuh diantara putih dan merah). Dalam kasus sapi shorthorn, warna merah yang dihasilkan yaitu RR homozigot, sedangkan warna putih yaitu rr homozigot. Munculnya warna merah disebabkan oleh gen yang tidak saling mendominasi, sehingga warna roan timbul (Noor, 2010). Hal ini juga terjadi pada sapi Islandia, dimana alel dominan di lokus roan bertanggung jawab

atas keberadaan rambut putih dan rambut berwarna yang bersebelahan. alel dominan inilah menyebabkan warna abu-abu pada sapi Islandia tersebut.



Gambar 9.5. Sapi Islandia dengan pola roan
(Sumber : wiki.groenkennisnet.nl, 2023)

9.3.4 Persilangan Dihybrid pada hewan

Persilangan yang menghasilkan dua sifat beda contohnya adalah persilangan sapi hereford merah berwajah putih (bH) dengan sapi angus (Bh) sehingga menghasilkan anak BbHh (sapi hitam berwajah putih). Prinsip segregasi dan rekombinasi dari sifat ini dikenal dengan hukum Mendel 2.

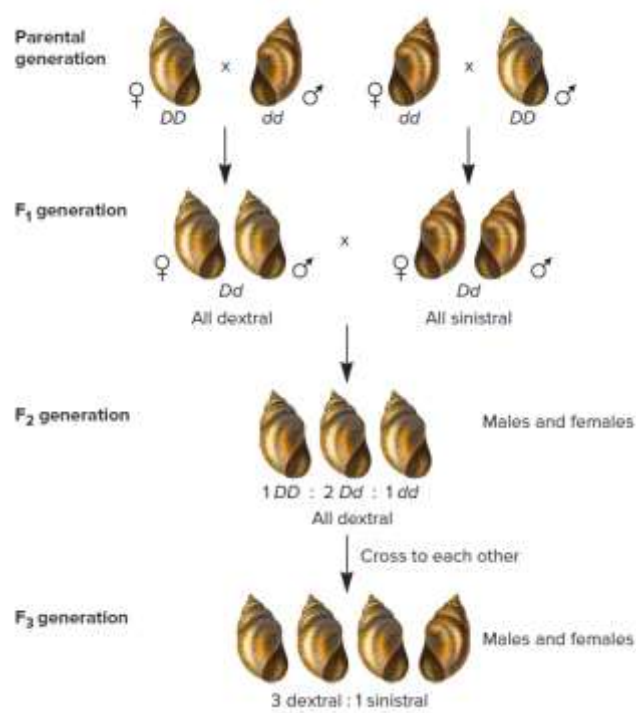
9.3.5 Pewarisan Sitoplasma

Pewarisan sifat sitoplasma diatur oleh materi genetik yang terkandung dalam organel seperti mitokondria, kloroplas (pada tumbuhan), dan komponen sitoplasma tertentu lainnya. Demikian pula, virus dan partikel dapat membawa ciri genetik sitoplasma.

Contoh pewarisan sitoplasmik adalah pewarisan maternal yang terjadi pada siput. Eksperimen menunjukkan warisan pola siput melingkar. Arah kumparan pada cangkang siput *Limnaea peregra* dapat dibedakan menjadi dua, yakni ke kanan (dekstral) dan ke kiri (sinistral). Dalam percobaan ini, bagian D (dekstral) dominan terhadap d (sinistral). DD atau Dd ibu menghasilkan

keturunan dekstral, dan dd menghasilkan keturunan sinistral. Selanjutnya genotipe ayah dan anak tidak mempengaruhi keturunan. Sifat ini diturunkan dengan pola yang sama dengan induknya atau secara sepihak melalui induk betina, artinya diatur oleh materi genetik yang ada di sitoplasma. Namun dari fenotipe generasi F3 diketahui bahwa pewarisan sifat tersebut diatur oleh gen kromosom yang segregasinya mengikuti hukum Mendel. Fenomena semacam ini dikenal dengan istilah pengaruh maternal (*maternal effect*).

Pengaruh maternal terjadi karena zigot dan embrio berkembang di lingkungan tetua betina. Begitu juga embrio baru saja keluar dari tubuh tetua betina akan memperoleh nutrisi dan sitoplasma dari sel telur tetua betina. Oleh karena itu, penampilan fenotipe individu yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kondisi tetua betina (Brooker, 2017).



Gambar 9.6. Siput pola melingkar dalam pewarisan maternal (Sumber : (Brooker, 2017))

9.3.6 Hibridisasi

Hibridisasi adalah perkawinan individu-individu dari dua populasi atau kelompok berbeda yang dibedakan berdasarkan satu atau lebih sifat yang diwariskan. Keberhasilan menghasilkan keturunan dari hibridisasi disebabkan karena individu tetua masih dalam satu genus yang sama (Groves, 2001). Hibridisasi antar spesies dapat terjadi akibat fragmentasi hutan dan perusakan habitat sehingga menyulitkan suatu spesies untuk menemukan spesies yang sama (Detwiler, Burrell and Jolly, 2005; Yadav *et al.*, 2019). Hibridisasi antar taksa secara tradisional diakui sebagai faktor yang menyebabkan terbatasnya diversifikasi, isolasi reproduksi, dan menurunnya kebugaran (Roos *et al.*, 2011).

Secara umum, jenis hibridisasi spesies dibagi menjadi dua, yaitu

1. Hibridisasi alami: Hibridisasi alami merupakan perkembangbiakan alami antara keduanya populasi atau spesies berbeda yang menghasilkan keturunan sehingga menyebabkan perubahan genotipe dan fenotipe (Liu, 2010). Contoh dari hibridisasi alami adalah perkawinan antara monyet colobine yaitu jantan *Semnopithecus* dengan betina *Trachypithecus* di habitat aslinya. Kedua genus tersebut serupa dalam bentuk morfologi dan penampilan umum (Roos *et al.*, 2011). Kasus hibridisasi juga dapat terjadi di penangkaran, hal ini karena terbatasnya jumlah individu serupa dan lokasi spesies yang berdekatan di dalam kandang. Contohnya adalah *H. agilis* dengan *H. klossii* yang menghasilkan anakan dengan wajah mirip dengan *Hylobates klossii*, namun secara genetik dekat dengan *Hylobates agilis* (Gambar 9.7) (Hasanah *et al.*, 2020).



Gambar 9.7. Secara morfologi penampakan individu induk betina (A), jantan (B), dan anakan hibrid (C).
Sumber : (Hasanah *et al.*, 2020)

Hasil hibrid terjadi dengan dan tanpa introgresi. Hibrida yang subur dihasilkan dari introgresi gen induk. Hibrida yang tidak subur menyebabkan introgresi, yang menghilangkan gen murni dari para tetua. Hasil hibrida yang steril menyebabkan penurunan kapasitas reproduksi yang mengakibatkan penurunan populasi dan mendukung kepunahan spesies (Allendorf, 2017).

2. Hibridisasi antropogenik: Hibridisasi yang terjadi karena campur tangan manusia biasanya untuk tujuan domestikasi. Domestikasi adalah proses di mana sejumlah individu terbatas yang berasal dari populasi liar dipilih untuk mendapatkan perubahan yang diinginkan dalam perilaku, morfologi, dan fisiologi (Ostrander *et al.*, 2017). Contoh dari hibridisasi antropogenik adalah Babi hutan (*Sus scrofa meridionalis*) berhibridisasi dengan babi domestik (*S. s. domesticus*) (Fabbri *et al.*, 2023). Jika hibridisasi antara liar dan domestik terjadi, hibrida umumnya dapat melakukan persilangan balik ke populasi liar, jika perbedaan antara kedua populasi cukup rendah untuk menghasilkan keturunan yang fertil. Konsekuensi yang mungkin terjadi introgresi alel domestik ke populasi liar sulit diprediksi. Dalam hal ini hibridisasi antropogenik dianggap sebagai ancaman bagi

konservasi spesies liar karena kemungkinan terjadinya pertukaran genetik pada populasi liar (Ostrander *et al.*, 2017; Fabbri *et al.*, 2023).

9.4 Perkembangan Genetika Modern

9.4.1 Pemetaan Gen Pada Hewan

Pemetaan genetik, pemetaan gen atau pemetaan kromosom, adalah teknik yang dilakukan untuk menentukan urutan linier dan jarak pemisahan antara gen yang terkait satu sama lain sepanjang kromosom yang sama. Mengapa pemetaan genetik berguna? Pertama, memungkinkan ahli genetika untuk memahami keseluruhan kompleksitas dan organisasi genom dari spesies tertentu. Dalam beberapa kasus, lokus gen yang diketahui di dalam peta dapat membantu ahli genetika molekuler untuk mengkloning gen, dengan demikian memperoleh informasi yang lebih besar tentang fitur molekulernya. Peta genetik juga dapat digunakan untuk meningkatkan pemahaman tentang hubungan evolusi di antara makhluk hidup (Griffits *et al.*, 2015; Brooker, 2017).

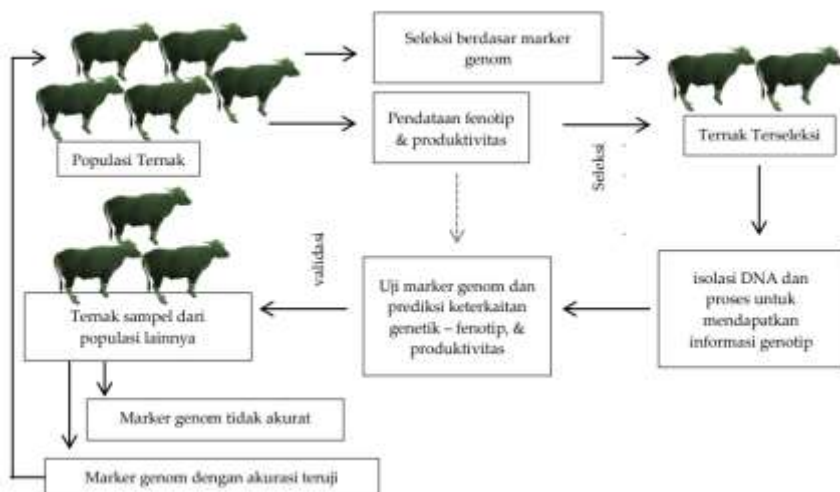
9.4.2 Pemanfaatan Informasi Genomik untuk Perbaikan Kualitas Hewan

Genom adalah informasi yang berasal dari seluruh DNA di dalam sel tubuh hewan. Teknologi molekuler dapat memetakan hubungan antara genotipe dan fenotipe secara lebih akurat. Teknologi genom mempelajari semua gen dalam tubuh dan cara mereka berinteraksi. Pemanfaatan genomik pada beberapa hewan antara lain,

1. Hewan Ternak

Contoh penggunaan informasi genom pada hewan ternak sapi potong/sapi perah yaitu keterkaitan genom dengan efisiensi pakan pada sapi potong/sapi perah, efek pemberian suplemen pakan pada domba, efek pemberian suplementasi pakan terhadap produktivitas ayam. Informasi genom juga digunakan dalam bidang peternakan untuk tujuan penyelerasan sistem seleksi tradisional buatan Indonesia. Rekayasa genetika disisipkan untuk meningkatkan efisiensi dan ketepatan proses

pemilihan hewan ternak tersebut (Sudrajad *et al.*, 2021; Kurnianto, 2023).



Gambar 9.8. Ilustrasi pemanfaatan teknologi genom pada pemilihan hewan ternak
Sumber : (Sudrajad *et al.*, 2021).

2. Hewan Peliharaan

Anemon laut, ubur-ubur, ikan zebra telah direkayasa secara genetik karena dapat mengekspresikan protein fluoresen di dalam tubuhnya sehingga disebut “GloFish”. GloFish mulai dipasarkan di Amerika Serikat pada tahun 2003 sebagai ikan hias peliharaan. Namun, pemasaran “Glofish” memicu kontroversi perdebatan etis di California sebagai satu-satunya negara bagian AS yang melarang penjualan GloFish sebagai hewan peliharaan. Rekayasa genetik lainnya pada kucing peliharaan yaitu menciptakan kucing hipoalergenik, dengan menghilangkan gen yang mengkode alergen utama pada kucing (Ormandy, Dale and Griffin, 2011).

3. Satwa liar

Penerapan utama rekayasa genetika pada spesies liar melibatkan teknologi kloning. Teknologi ini bisa jadi diterapkan pada spesies yang punah atau terancam punah. Misalnya,

mengkloning harimau Tasmania yang sudah punah. Kloning mungkin terbukti menjadi alat penting untuk digunakan bersama dengan bentuk reproduksi berbantuan lainnya untuk membantu mempertahankan genetika keanekaragaman dalam populasi kecil spesies yang terancam punah (Ormandy, Dale and Griffin, 2011).

DAFTAR PUSTAKA

- Allendorf, F. W. 2017. 'Genetics and the conservation of natural populations: allozymes to genomes', *Molecular Ecology*, 26(2), pp. 420–430. doi: 10.1111/mec.13948.
- Arumingtyas, E. L. 2016. *Genetika Mendel: Prinsip Dasar Pemahaman Ilmu Genetika*. Edited by Universitas Brawijaya Press. Malang.
- Brooker, R. J. 2017. *Analysis principles*. Sixth Edit. New York: McGraw-Hill Education.
- Detwiler, K. M., Burrell, A. S. and Jolly, C. J. 2005. 'Conservation implications of hybridization in African cercopithecine monkeys', *International Journal of Primatology*, 26(3), pp. 661–684. doi: 10.1007/s10764-005-4372-0.
- Fabbri, G. *et al.* 2023. 'Anthropogenic hybridization and its influence on the adaptive potential of the Sardinian wild boar (*Sus scrofa meridionalis*)', *Journal of Applied Genetics*, 64(3), pp. 521–530. doi: 10.1007/s13353-023-00763-x.
- Griffits, A. *et al.* 2015. *A Map of Genetics*. Eleventh E. England: W.H. Freeman and Company.
- Groves, C. P. 2001. *Primate Taxonomy*. Washington DC: Smithsonian Institution Press.
- Hasanah, R. *et al.* 2020. 'Genetic characterization based on the d-loop mtdna and the tspy genes of the dwarf siamang (*Hylobates klossii*) of Mentawai Island, Indonesia', *Biodiversitas*, 21(6), pp. 2854–2861. doi: 10.13057/biodiv/d210664.
- Kurnianto, E. 2023. *Animal Animal Breeding*. 1st edn. Sidoarjo: Indomedia Pustaka.
- Liu, S. J. 2010. 'Distant hybridization leads to different ploidy fishes', *Science China Life Sciences*, 53(4), pp. 416–425. doi: 10.1007/s11427-010-0057-9.
- Noor, R. R. 2010. *Genetika Ternak*. vi. Bogor: Penebar Swadaya.
- Ormandy, E. H., Dale, J. and Griffin, G. 2011. 'Animal Welfare Bien-être des animaux Genetic engineering of animals: Ethical issues , including welfare concerns', *Canadian Veterinary Journal*, 52(5), pp. 544–550.

- Ostrander, E. A. *et al.* 2017. 'Demographic history, selection and functional diversity of the canine genome', *Nature Reviews Genetics*, 18(12), pp. 705–720. doi: 10.1038/nrg.2017.67.
- Roos, C. *et al.* 2011. 'Nuclear versus mitochondrial DNA: Evidence for hybridization in colobine monkeys', *BMC Evolutionary Biology*, 11(1). doi: 10.1186/1471-2148-11-77.
- Sudrajat, P. *et al.* 2021. 'Pemanfaatan informasi genom untuk eksplorasi struktur genetik dan asosiasinya dengan performan ternak di Indonesia', *Livestock and Animal Research*, 19(1), p. 1. doi: 10.20961/lar.v19i1.47658.
- Sutarno. 2016. 'Rekayasa Genetik dan Perkembangan Bioteknologi di Bidang Peternakan', *Proceeding Biology Education Conference*, 13(1), p. 23.
- Wirjosoemarto, K. 2016. 'Hukum mendel dan pewarisan sifat', *Genetika*, pp. 1–56. Available at: <http://repository.ut.ac.id/4302/3/PEBI4311-M1.pdf>.
- Yadav, A. D. *et al.* 2019. 'An overview on species hybridization in animals', ~ 36 ~ *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 6(5), pp. 36–42. Available at: <http://www.faunajournal.com>.

BAB 10

PERILAKU HEWAN (ORANGUTAN DI KEBUN BINATANG)

Oleh Nurzaidah Putri Dalimunthe

10.1 Pendahuluan

Perilaku berkaitan erat dengan ilmu biologi dan psikologi (Biopsikologi). Bauran ilmu biopsikologi ini memiliki daya tarik tersendiri karena adanya pendekatan baru yang muncul dalam kegiatan penelitian yang terus berkembang untuk mendapatkan penemuan terbaru. Dalam Biopsikologi mempelajari mekanisme fisiologis terkait dengan pembentukan dan perkembangan perilaku makhluk hidup. Respon terhadap kondisi lingkungan makhluk hidup adalah bentuk perilaku atau tingkah laku. Adanya pola reaksi yang terbentuk juga dipengaruhi oleh pengalaman suatu makhluk hidup yang terjadi karena adanya kejadian yang pernah terjadi secara alami maupun sengaja.

Secara definisi dan sejarah bahwa ilmu etologi adalah ilmu yang mengkaji secara ilmiah dan objektif perilaku hewan mengenai perilaku hewan dalam kondisi habitatnya dan kemampuan adaptifnya dalam suatu respon atau tanggapan yang terukur sebagai sifat adaptif evolusioner. Etologi juga kombinasi hubungan laboratorium sains, antara lain seperti neuroanatomi, ekologi dan biologi evolusioner yang tertarik pada proses perilaku pada kelompok hewan tertentu sehingga muncul keinginan mempelajari satu atau lebih jenis perilaku. Jenis perilaku antara lain agresi, makan, seksual dan sosial. Ketertarikan dalam mempelajari perilaku hewan ini sering kali dilakukan dalam penelitian untuk menunjukkan adanya kesamaan dengan manusia, terutama keterkaitan perilaku dengan pengalaman, faktor genetik, dan fisiologi.

Setiap jenis hewan memiliki kemampuan dalam dirinya untuk beradaptasi dengan lingkungannya baik lingkungan alami

maupun buatan, hal tersebut terkadang dapat berubah secara temporal. Berdasarkan adanya respon yang terjadi secara biologis mereka mempunyai sistem dalam penyesuaian diri terhadap lingkungannya. Perubahan habitat merupakan salah satu hal yang dapat mengubah aktivitas dari kehidupan hewan sehingga hewan memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan lingkungan. Secara biologi, sensitivitas ini akan adanya hubungan antara pikiran atau jiwa badan (*mind- body problem*), antara perilaku terkait dengan masalah pikiran- tubuh (*mind-body*) atau pikiran-otak (*mind- brain problem*). Sehingga aktivitas mental atau pikran merupakan sesuatu yang terjadi pada otak. Perubahan dan gangguan terhadap habitat yang berubah adalah suatu strategi hewan untuk menghindari dan beradaptasi kembali memanfaatkan kondisi lingkungan yang tersedia dengan baik untuk terus hidup dan berkembang biak secara normal. Namun, akan berdampak negatif bagi individu ataupun populasi yang tidak dapat merespon dan beradaptasi dengan baik segala gangguan dan perubahan habitat yang akan berakhir dengan kematian hewan tersebut.

Perubahan habitat dapat terjadi secara alami dan dapat juga disengaja akan mendapat respon yang berbeda dari setiap jenis hewan. Bencana alam (*Natural disaster*) adalah suatu peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, tanah longsor, dan angin topan. Beberapa hewan diyakini dapat mendengar suara dan merasakan getaran yang terkait dengan pergeseran lapisan di dalam bumi. Hewan dianggap memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mendeteksi perubahan elektromagnetik di alam semesta daripada manusia. Berbagai jenis hewan telah digunakan sebagai biosensor dan diidentifikasi melalui perilaku mereka terhadap rangsangan yang diterimanya, seperti burung yang terbang tak beraturan, anjing dan kucing yang melolong dan gelisah yang terjadi pada bencana gempa bumi hebat yang melanda Turkey pada 6 Februari 2023 (Azizah & Yulianti, 2023).

Habitat hewan atau satwa liar telah banyak diatur dalam peraturan perundang-undangan guna menjaga keseimbangan alam sekitar kita. Upaya konservasi satwa liar sangat dibutuhkan untuk menjamin kelestarian spesies tersebut. Konservasi meliputi

kegiatan yang berkaitan dengan perlindungan, pengawetan, pemeliharaan, rehabilitasi, introduksi, pelestarian, dan pemanfaatan satwa liar secara berkelanjutan (Alikodra 2012). Upaya konservasi satwa liar seperti orangutan antara lain dapat dilakukan secara insitu (di habitat aslinya) maupun eksitu (di luar habitatnya). Usaha konservasi eksitu sangat tepat dan berguna bagi satwa-satwa yang langka dan jumlah populasi yang rendah di habitat alaminya. Kebun binatang merupakan salah satu lembaga yang berperan sebagai sarana konservasi eksitu satwa liar. Kebun binatang bertujuan untuk menjamin kelangsungan hidup dan kesejahteraan satwa liar dengan melakukan upaya perawatan, perlindungan, pelestarian dan pengembangbiakan berdasarkan kesejahteraan satwa. Keberhasilan upaya konservasi di kebun binatang juga dapat dinilai dari peningkatan pengetahuan dan kepedulian pengunjung terhadap satwa liar. Upaya edukasi terhadap pengunjung harus dilakukan secara optimal dan berkelanjutan. Manajemen pendidikan atau edukasi memainkan peran dalam meningkatkan pengetahuan pengunjung mengenai aspek biologis, ekologis, tingkah laku serta status konservasi satwa termasuk orangutan.

10.2 Konsep Perilaku Hewan

Perilaku hewan pada hakekatnya adalah *total range of activities* (Barnard, 2004) dan melibatkan aktivitas yang dapat dideteksi (*observable*) dan yang sukar dideteksi (*non-observable*). Hewan merupakan salah satu dari kerajaan dalam sistematika makhluk hidup di bawah Domain Eukarya. Perilaku merupakan sebagai aksi atau tindakan yang dapat mengubah pola interaksi antara organisme dengan lingkungannya (Hidayati, *et al.*, 2015). Fenomena perilaku hewan adalah ekspresi respon hewan terhadap lingkungan sebagai upaya kelangsungan hidup hewan (Barnard, 2004).

Memahami perilaku hewan menjadi penting dalam pelatihan satwa, mempelajari perilaku alami dari spesies yang berbeda akan menjadi pertimbangan dalam hasil yang ingin dicapai. Keanekaragaman genetik, jenis, dan ekosistem yang dimiliki oleh setiap individu hewan yang berbeda akan menyebabkan perilaku yang berbeda pula dalam menanggapi stimulus yang ada, baik dari

dalam tubuh maupun dari lingkungan di sekitarnya (Amarullah *et al.*, 2021). Sesuai dengan prinsip aktivitas harian hewan adalah makan, bergerak, istirahat, sosial dan membangun sarang. Berbagai jenis aktifitas ini telah banyak diteliti dan dijadikan sebagai data dalam program pengelolaan hewan atau satwaliar di Indonesia sebagai upaya perlindungan, pelestarian, dan pemanfaatan yang bernilai positif dalam strategi konservasi. Beberapa peneliti menuangkan akan pengertian atau definisi dari perilaku hewan adalah sebagai berikut :

1. Menurut Timotius (2018), Perilaku adalah tindakan, aktivitas, respon, reaksi, gerakan, serta proses yang dilakukan oleh organisme.
2. Menurut Winarno dan harianto (2018), Perilaku adalah studi ilmiah dan objektif tentang perilaku hewan yang mengacu pada tanggapan terukur terhadap rangsangan atau respon.
3. Menurut Amrullah *et al.* (2021), Perilaku adalah sebagai aksi atau tindakan yang dapat mengubah pola hubungan atau interaksi antara suatu organisme dengan lingkungannya.
4. Menurut Hidayati *et al.* (2015), Perilaku adalah *total range of activities* dan melibatkan aktivitas yang dapat dideteksi (*observable*) dan yang sukar dideteksi (*non-observable*). Perilaku juga merupakan tindakan adaptif makhluk hidup terhadap lingkungannya agar mampu mempertahankan hidup.
5. Menurut Kahby *et al.*(2023), Perilaku merupakan bentuk respon terhadap kondisi internal dan eksternal yang dapat diamati, dideskripsikan dan direkam. Perilaku hewan adalah bagaimana hewan merespon lingkungannya, baik mencari makan, mencari pasangan, mempertahankan diri dari pemangsa, atau berkomunikasi dengan pasangan.

Pola adaptasi perilaku hewan terhadap lingkungannya dikategorisasikan sebagai perilaku bawaan (*Innate Behavior*) dan perilaku belajar (*Learning Behavior*). Berawal dari perilaku taksis pada protozoa, instingtif pada insekta dan pola learning dan

reasoning pada Primata (Dethir & Stellar, 2006). Salah satu contoh adanya adaptasi terhadap lingkungan tempat hidupnya adalah kupu-kupu, sebagai upaya kamuflase terhadap predator, akan tampak pada kupu-kupu bentuk tubuh/sayapnya (adaptasi morfologis/*structural*), warna sayap (adaptasi biokimiawi/fisiologis), perilaku diam dan gerak (adaptasi perilaku/*behaviour*).

Perilaku belajar (*Learning Behavior*) adalah perilaku yang diperoleh sebagai hasil dari perubahan konstan dalam pengalaman individu. Belajar adalah perubahan tingkah laku yang terjadi melalui pengalaman. Dibandingkan dengan perilaku bawaan, perilaku yang dipelajari lebih fleksibel. Banyak perilaku yang dipelajari dapat disesuaikan dengan keadaan yang berubah. Perilaku yang dipelajari umumnya lebih adaptif daripada perilaku bawaan karena dapat dimodifikasi sebagai respons terhadap perubahan lingkungan. Spesies yang lebih cerdas biasanya memiliki tingkat perilaku yang dipelajari lebih tinggi daripada perilaku bawaan (Kahby, *et al.*, 2023)

Perilaku belajar dalam pengelolaan hewan atau satwa liar terhadap perubahan lingkungan juga menjadi perhatian yang cukup serius dalam strategi konservasi hewan. Perubahan lingkungan tersebut juga menuntut pola adaptasi yang tinggi pada satwa liar, mulai dari adanya gangguan atau perubahan habitat hingga konflik terhadap manusia. Upaya konservasi satwa liar contohnya orangutan sangat dibutuhkan untuk menjamin kelestarian spesies tersebut. Konservasi meliputi kegiatan yang berkaitan dengan perlindungan, pengawetan, pemeliharaan, rehabilitasi, introduksi, pelestarian, dan pemanfaatan satwa liar secara berkelanjutan (Alikodra 2012). Upaya konservasi orangutan antara lain dapat dilakukan secara insitu (di habitat aslinya) maupun eksitu (di luar habitatnya). Usaha konservasi eksitu sangat tepat dan berguna bagi satwa-satwa yang langka dan jumlah populasi yang rendah di habitat alaminya.

10.3 Perilaku Belajar Orangutan (*Learning Behavior*)

Keberadaan orangutan liar di habitat alami terus-menerus mengalami berbagai ancaman. Ancaman terhadap orangutan terutama disebabkan kerusakan habitat yang diakibatkan oleh peralihan hutan menjadi wilayah perkebunan, degradasi hutan (*illegal logging*), bencana alam dan masih berlangsungnya penangkapan liar terhadap orangutan untuk diperdagangkan (Groves 2001). Berdasarkan hal tersebut IUCN mengategorikan orangutan sebagai *critically endangered species* atau sebagai satwa yang kritis (IUCN 2016).

Usaha konservasi eksitu sangat tepat dan berguna bagi satwa-satwa yang langka dan jumlah populasi yang rendah di habitat alaminya. Kebun binatang merupakan salah satu lembaga yang berperan sebagai sarana konservasi eksitu satwa liar. Kebun binatang bertujuan untuk menjamin kelangsungan hidup dan kesejahteraan satwa liar dengan melakukan upaya perawatan, perlindungan, pelestarian dan pengembangbiakan berdasarkan kesejahteraan satwa. Dalam rangka mencapai tujuan kebun binatang, dibutuhkan manajemen yang baik untuk menjalankan program konservasi eksitu untuk menjamin kelestarian jenis satwa orangutan.

Perilaku belajar dalam habitat buatan (kebun binatang) sangat berkaitan erat dengan manajemen yang telah diprogramkan. Manajemen bertanggung jawab untuk merencanakan, melaksanakan, serta mengawasi dan mengevaluasi berbagai aspek yang berkaitan dengan kesejahteraan satwa. Aspek kesejahteraan satwa meliputi bebas dari lapar, haus, dan malnutrisi, bebas dari ketidaknyamanan yang disebabkan kondisi lingkungan, bebas dari rasa nyeri, luka dan penyakit, bebas dari rasa takut dan cekaman, serta bebas untuk bertingkah laku secara alami. Beberapa aspek manajemen yang memiliki kaitan langsung dengan kesejahteraan satwa di antaranya manajemen kandang dan pakan.

Manajemen kandang berperan untuk memastikan seluruh aspek kesejahteraan satwa dapat terpenuhi di dalam kandang. Manajemen kandang merancang sistem perkandangan, menyediakan pengkayaan lingkungan, melakukan perawatan kandang, mengatur

penempatan individu serta melakukan fungsi pengembangan dan perbaikan sistem perkandangan. Manajemen kandang harus mempertimbangkan karakteristik fisik, tingkah laku individu, dan tingkah laku sosial orangutan. Dalam desain konstruksi kandang, banyak faktor yang harus dipertimbangkan seperti jenis, umur, iklim, pertimbangan keamanan dan ekonomi.

Dasar pertimbangan penilaian penerapan manajemen kandang berdasarkan aktivitas harian adalah karena salah satu aspek kesejahteraan satwa adalah satwa bertingkah laku secara alamiah. Analisis terhadap aktivitas harian orangutan dapat dijadikan dasar pertimbangan untuk membandingkan tingkah laku orangutan liar dengan orangutan penangkaran. Analisis aktivitas harian orangutan juga dapat dilakukan untuk mengetahui adanya penyimpangan perilaku satwa di penangkaran.

Manajemen pakan juga merupakan suatu aspek penting untuk menjamin kesejahteraan orangutan. Manajemen pakan memiliki peranan untuk merencanakan dan melaksanakan penyediaan suplai makanan yang dibutuhkan orangutan sesuai dengan karakteristik dan persyaratan pakan yang dibutuhkan. Pemberian pakan orangutan dilakukan dengan mempertimbangkan banyak faktor. Keragaman diet satwa primata tergantung pada jenis, tahapan perkembangan, dan faktor lingkungan.

Dasar pertimbangan penilaian penerapan manajemen pakan berdasarkan pemenuhan kebutuhan nutrisi dan bobot tubuh adalah karena salah satu aspek kesejahteraan satwa adalah satwa harus terbebas dari rasa lapar dan bebas dari penyakit. Jumlah asupan energi yang diperoleh orangutan menjadi fokus utama penilaian berdasarkan bobot tubuh orangutan sebagai indikasi kelebihan bobot tubuh atau obesitas. Kondisi yang obesitas juga mempengaruhi tingkat keaktifan dari aktivitas harian orangutan.

Pada umumnya, perilaku utama orangutan dapat dibagi menjadi lima yaitu bergerak, makan, istirahat, sosial, dan bermain (Simanjuntak 1998). Kekuatan lokomosi terletak pada kedua tangan dan kaki. Pergerakan dilakukan dengan cara berayun-ayun dari satu dahan ke dahan yang lain secara horizontal dalam waktu yang lama untuk mencari makanan. Kemampuan berayun dari satu pohon ke pohon lain dikenal dengan istilah *tree sway* seperti yang pertama

kali dideskripsikan oleh Sugardjito dan van Hooff (1986). Pergerakan seperti ini melibatkan berbagai *posture* (posisi tubuh) dalam upaya merubah pusat gravitasi tubuh selama berayun seperti *monopedal*, *bipedal* dan *tripedal stand* serta *forelimb suspend* (menekuk lengan depan) (Thorpe dan Crompton 2006). Ibu jari tangan dan kaki yang dapat direntangkan memungkinkan orangutan berpindah dari pohon ke pohon dengan cara mengapit cabang dengan kedua kaki dan tanganya. Jari tangan dan kakinya seperti kait (*hooks*) (Galdikas 1988). Ketika berada di tanah, orangutan berjalan dengan *quadrupedal* dengan kepalan tangan (*fist*) bukan sendi jari (*knuckle*) seperti kera besar lain, dan kadang orangutan terlihat berjalan secara *bipedal* (Rowe 1996).

Orangutan liar lebih banyak menghabiskan waktunya dengan aktivitas makan dibandingkan dengan aktivitas lainnya. Di lingkungan alaminya, orangutan menghabiskan sekitar 50-60% waktunya untuk *foraging* dan *feeding*, 25-35% untuk istirahat 10-15% untuk bergerak (Knott 1998; Morrogh-Bernard *et al.* 2009; Rodman 1979). Hasil penelitian Galdikas (1984) di Taman Nasional Tanjung Puting, memperoleh proporsi aktivitas orangutan meliputi 60,1% aktivitas hariannya untuk makan, 20,5% untuk bergerak, dan 19,3% untuk istirahat. Aktivitas harian orangutan Sumatera didominasi oleh aktivitas makan (>50%), istirahat (22-42%), menjelajah (9-19%), dan sisanya adalah sosial dan membangun sarang (Atmoko dan van Schaik 2010).

Di luar habitat alami, persentase istirahat orangutan umumnya menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan aktivitas lainnya. Hal ini disebabkan orangutan di penangkaran tidak perlu menghabiskan waktu untuk mencari sumber pakan sehingga memiliki lebih banyak waktu untuk aktivitas lainnya (Crosby 2015).

Zuhra *et al* (2009) di Pusat Primata Schmutzer (PPS) memperoleh proporsi aktivitas makan sebesar 53,18% dari total aktivitas harian, dengan aktivitas makan terbanyak pada pagi hari, rendah pada siang hari dan kembali tinggi pada sore hari. Penelitian tersebut juga memperoleh data bahwa bahan makanan terbanyak yang dikonsumsi adalah buah (63,55%) dari seluruh bahan makanan yang dikonsumsi.

10.4 Perilaku Harian Orangutan

Perilaku harian orangutan biasanya diamati berdasarkan aktivitas harian orangutan di kandang, ketinggian tempat beraktivitas, penggunaan pengayaan lingkungan, dan posisi tubuh saat makan, dilakukan dengan metode *focal animal sampling* dengan individu sudah dihabituisasi sebelumnya sehingga sudah terbiasa dengan kehadiran dan keberadaan pengamat di lokasi pengamatan (Martin dan Bateson 1988).

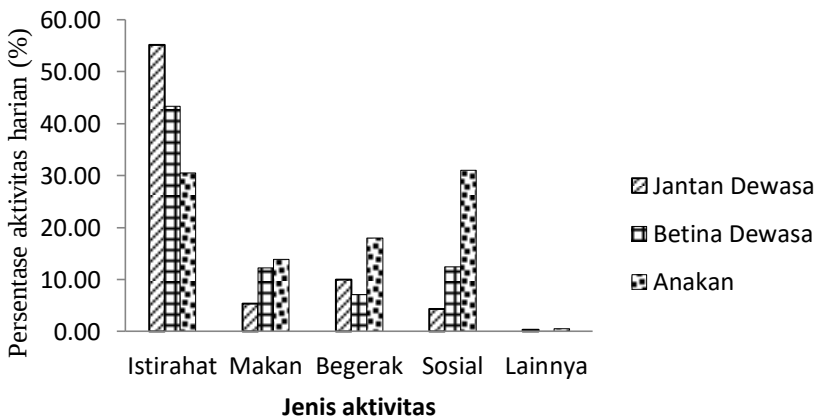
10.4.1 Aktivitas harian Orangutan

Beberapa parameter yang diamati terhadap perilaku harian orangutan sesuai dengan Popowati (1997) yaitu:

1. Makan (*diet*), yaitu aktivitas yang dimulai ketika satwa mulai memilih, mengambil, membawa, memasukkan makanan ke dalam mulut, menggigit, mengunyah, dan menelannya sampai ketika satwa berhenti makan/minum. Kejadian ini dihitung sebagai satu aktivitas. Posisi tubuh orangutan pada saat melakukan aktivitas makan terdiri atas: berdiri, duduk, dan menggantung.
2. Berpindah/bergerak (*moving*), yaitu semua pergerakan satwa dari satu tempat ke tempat lain, meliputi:
 - a. Berjalan/berlari, yaitu posisi tubuh dengan cara berdiri diatas kedua kaki (*bipedal*) atau keempat kakinya (*quadripedal*);
 - b. Melompat, dilakukan dengan pijakan/tolakan awal yang diikuti dengan lompatan;
 - c. Memanjat (*climbing*), dilakukan dengan memegang objek (batang/besi dengan keempat tungkainya kemudian bergerak ke arah vertikal; dan berayun/bergantung, dilakukan dengan menggunakan dua atau keempat alat geraknya, yang dimulai dengan tangan kanan, kaki kiri, tangan kiri disusul dengan kaki kanan atau kombinasi keduanya.
3. Aktivitas istirahat, yaitu aktivitas diam yang meliputi duduk dan tidur (tidak melakukan aktivitas lainnya seperti makan, *grooming* dan lain-lain).
4. Aktivitas sosial, meliputi:
 - a. bermain (*playing*), yaitu aktivitas yang biasanya

dilakukan oleh anak-anak sampai individu remaja yang meliputi aktivitas kejar-kejaran, tarik-menarik, bergulat, berpelukan;

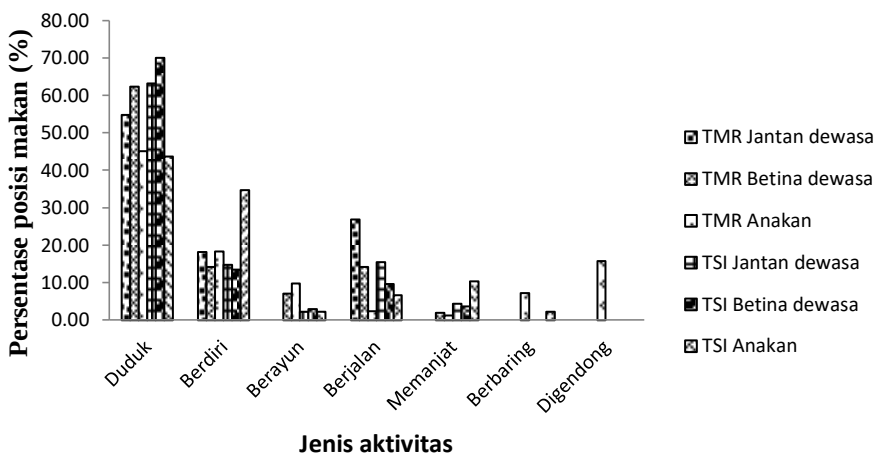
- b. berkelahi (*aggressive/agonistic*), yaitu aktivitas yang ditandai dengan ancaman mimik muka/gerak badan serta baku hantam dan diakhiri dengan kekalahan lawan; dan
 - c. *grooming*, yaitu aktivitas membersihkan diri dari kotoran atau ektoparasit dari tubuh sendiri atau tubuh, individu lain. Aktivitas ini dimulai dengan mencari di sela-sela rambut, menjilat dan kemudian mengunyahnya.
 - d. kawin (*copulation/sexual*), yaitu aktivitas hubungan seksual antara satwa jantan dan betina, dimulai dengan aktivitas untuk menarik perhatian lawan jenis dan kemudian dilanjutkan dengan kopulasi (persetubuhan).
5. Aktivitas lainnya. Aktivitas lainnya meliputi aktivitas membuang kotoran (*eliminative*) yaitu defekasi (pembuangan feses) dan urinasi (pembuangan air seni). Aktivitas ini dapat dilakukan dengan posisi duduk ataupun berdiri.



Gambar 10.1. Persentase aktivitas harian orangutan pada semua tipe kandang di kedua kebun binatang (TMR dan TSI)

Berdasarkan uji ANOVA, persentase aktivitas harian untuk seluruh jenis aktivitas diperoleh hasil yang berbeda secara signifikan. Hal ini dilihat dari hasil Uji ANOVA dengan nilai $p < 0.05$ (Tabel 10). Uji Post-hoc memperlihatkan bahwa masing-masing kelompok umur memiliki perbedaan dalam aktivitas istirahat, makan dan sosial. Pada aktivitas istirahat, persentase anakan lebih rendah dibandingkan betina dewasa dan jantan dewasa. Pada aktivitas makan dan sosial, persentase jantan dewasa lebih rendah dibandingkan betina dewasa dan anakan. Untuk aktivitas bergerak, tidak ada perbedaan persentase antara kelompok jantan dewasa dengan betina dewasa yang lebih rendah dibandingkan dengan anakan.

Pada Gambar 10.2 posisi makan orangutan, Kelompok jantan dewasa lebih banyak makan dengan posisi duduk (59%) dan berjalan (11,99%) sedangkan betina dewasa adalah posisi duduk (66,25%) dan berdiri (13,89%). Sementara anakan makan dengan posisi yang lebih beragam yaitu duduk (44,2%), berdiri (29,29%), memanjat (7,32%) dan digendong (5,28%). Posisi makan orangutan antara TMR dan TSI umumnya memiliki persamaan baik dalam posisi atau persentase posisi makan. Di alam, posisi makan orangutan adalah kombinasi antara posisi duduk, *orthograde forelimb suspend*, *orthograde stand*, *orthograde quadumanous suspend*, *forelimb/hindlimb suspend*, *pronograde suspend* dan *lie* dan memanjat vertikal. Hasil penelitian Thorpe dan Crompton (2006), memperlihatkan bahwa posisi tubuh orangutan saat makan dominan adalah duduk (63%), *forelimb* atau *hindlimb suspend* (12%) dan *orthograde stand* (7%).



Gambar 10.2. Perbandingan posisi makan orangutan berdasarkan kategori umur-jenis kelamin pada kedua kebun binatang (TSI dan TMR)

Dalam upaya mengoptimalkan manajemen kandang orangutan di kebun binatang, sangat penting untuk mengidentifikasi hubungan antara penerapan manajemen kandang dengan aktivitas harian orangutan di kebun binatang berdasarkan aspek kesejahteraan satwa. Sebagai contoh adanya matriks hubungan antara aktivitas harian orangutan dengan aspek manajemen kandang yang perlu untuk dioptimalkan penerapannya antara kebun binatang TSI dan TMR sebagai berikut:

Tabel 10.1. Matriks hubungan antara aktivitas harian orangutan dengan aspek manajemen kandang

No	Tingkah laku menarik	Perbandingan kondisi		Faktor yang mempengaruhi
		TMR	TSI	
1	Aktivitas istirahat	Relatif lebih tinggi	Relatif lebih rendah	Pengayaan lingkungan, pengaturan individu, suhu udara
2	Aktivitas sosial	Relatif lebih rendah	Relatif lebih tinggi	Pengaturan individu

No	Tingkah laku menarik	Perbandingan kondisi		Faktor yang mempengaruhi
		TMR	TSI	
3	Ketinggian lokasi beraktivitas	Jantan dan anakan dewasa lebih sedikit di atas permukaan tanah	Jantan dewasa dan anakan lebih banyak di atas permukaan tanah	Struktur untuk memanjat
4	Posisi tubuh saat makan	Dominan posisi duduk	Dominan posisi duduk, kecuali Lindung	Pengayaan lingkungan
5	Persentase aktivitas bergerak dan sosial pada tipe kandang berbeda	Ada perbedaan	Ada perbedaan	Pengayaan lingkungan, pengaturan individu
6	Peningkatan level aktivitas pada hari libur	Ada (individu Simon)	Tidak ada	Karakter individu dan pengaturan individu

10.4.2 Penggunaan Pengayaan Lingkungan

Pengayaan lingkungan biasanya selalu tersedia dalam kandang dengan memperhatikan luas kandang dan fungsi kandang tersebut. Hal-hal yang menjadi pengamatan dalam penggunaan pengayaan lingkungan dilihat dari jumlah pengayaan lingkungan yang dipakai dan frekuensi penggunaan pengayaan lingkungan setiap hari pengamatan. Penggunaan pengayaan lingkungan dicatat selama pengamatan aktivitas harian orangutan pada masing-masing tipe kandang. Pengayaan lingkungan adalah suatu cara untuk melakukan pengayaan habitat orangutan di kebun binatang agar orangutan dapat bertingkah laku alami secara optimal dan dapat meningkatkan aktivitas orangutan

Dalam upaya mengoptimalkan fungsi dari pengayaan lingkungan hendaknya menggunakan bahan yang mudah diganti dan berbiaya rendah seperti kayu, bahan-bahan alam dan bukan dari bahan besi. Bahan pembuatan pengayaan lingkungan juga harus kuat dan tidak berbahaya bagi orangutan. Jenis pengayaan lingkungan yang disediakan di kandang hendaknya memenuhi

semua kategori pengayaan lingkungan (fisik, sosial, *occupational*, sensoris dan pakan). Frekuensi pergantian pengayaan lingkungan sebaiknya lebih sering dilakukan. Selain itu, perawatan jenis pengayaan lingkungan yang sudah ada harus dilakukan secara berkala untuk memastikan pengayaan lingkungan tersebut masih dalam kondisi yang baik sehingga meminimalkan kemungkinan resiko kecelakaan terhadap orangutan saat menggunakannya.

Penilaian pengayaan lingkungan harus dilakukan secara empiris untuk mengevaluasi pencapaian yang dimaksudkan, salah satunya adalah dengan menilai tingkahlaku subjek satwa. Penggunaan pengayaan lingkungan yang efektif harus dapat meningkatkan tingkahlaku khas dari jenis satwa, seperti grooming (membersihkan diri), mencari makan dan bermain serta di sisi lain menurunkan tingkah laku abnormal. Tingkah laku abnormal meliputi tingkah laku yang tidak ditemukan pada satwa sejenis di alam liar, seperti menyakiti diri sendiri. Pendekatan lain yang dapat dilakukan dalam rangka melakukan penilaian pengayaan lingkungan adalah dengan mengevaluasi parameter fisiologis seperti: kortisol, detak jantung dan fungsi kekebalan tubuh. Meskipun tetap harus diingat bahwa pemberian pengayaan lingkungan tidak selalu memperoleh hasil sesuai dengan yang diharapkan, apalagi hal tersebut juga berkaitan dengan variasi antar individu dalam penggunaan pengayaan lingkungan (Abee *et al.* 2012). Menurut Rennie dan Buchanan-Smith (2006) bahwa pengayaan lingkungan harus memenuhi tiga strategi pengembangan yaitu pengendalian, kompleksitas dan *predictability*. Dalam hal kompleksitas pengayaan lingkungan, dapat menstimulasi orangutan untuk melakukan proses belajar. perlu diperhatikan bahwa hal tersebut tetap memperhatikan aspek *predictability*. Buchannan-smith (1997) menyatakan derajat *predictability* yang tinggi (mudah ditebak) dapat menyebabkan satwa menjadi frustrasi dan bosan sedangkan derajat *predictability* yang sangat rendah (tidak bisa ditebak) dapat menyebabkan satwa menjadi stress.



Gambar 10.3. penggunaan pengayaan lingkungan sebagai pendukung aktivitas orangutan

10.5 Kesejahteraan Hewan (*Animal Welfare*)

Kebun binatang adalah tempat satwa dipelihara dalam lingkungan buatan, dan dipertunjukkan kepada publik. Kebun binatang merupakan salah satu contoh objek wisata alam yang dapat dinikmati oleh masyarakat dari seluruh lapisan usia, karena selain relatif murah kebun binatang juga menawarkan pendidikan bagi anak-anak mengenai keragaman satwa. Dalam mengelola sebuah kebun binatang, kesejahteraan satwa (*animal welfare*) harus mendapatkan perhatian serius agar satwa dapat hidup dan berkembangbiak dengan baik sehingga tujuan kebun binatang berhasil dalam melindungi dan melestarikan satwa.

Aspek kesejahteraan satwa meliputi bebas dari lapar, haus, dan malnutrisi, bebas dari ketidaknyamanan yang disebabkan kondisi lingkungan, bebas dari rasa nyeri, luka dan penyakit, bebas dari rasa takut dan cekaman, serta bebas untuk bertingkah laku secara alami. Aspek bebas ketidaknyamanan dapat diidentifikasi dari kondisi lingkungan tempat tinggal dan tempat istirahat yang nyaman bagi satwa (FAWC 2009). Kondisi tempat tinggal orangutan dapat diamati dengan melihat kondisi kandang peraga, kandang dalam dan kandang tidur. Aspek kebebasan satwa dari rasa sakit dan penyakit dapat diwujudkan dengan upaya pencegahan, pengobatan dan perawatan satwa. Pengelolaan satwa juga dilakukan untuk memastikan orangutan di kebun binatang tidak berada dalam kondisi stress dan tertekan. Aspek bebas dari rasa tidak nyaman dapat diketahui dengan melihat kondisi suhu, bahan pembuat kandang, dan perawatan kandang (FAWC 2009).

Ketersediaan pakan yang berkualitas merupakan kebutuhan dasar satwa di habitat alaminya ataupun dalam penangkaran. Ada beberapa faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam pemberian pakan pada orangutan penangkaran seperti preferensi individu, keadaan tubuh, status kesehatan dan level aktivitas. Schmidt (2004) menyatakan bahwa pakan dan level aktivitas merupakan dua komponen kritis dalam menjaga satwa tetap memiliki berat badan yang sesuai. Hal ini memberikan suatu masukan bahwa dalam upaya konservasi eksitu orangutan di kebun binatang, pemberian pakan yang tepat baik dari segi jumlah dan jenisnya harus menjadi perhatian penting.

DAFTAR PUSTAKA

- Abee CR, Mansfield K, Suzette T, Timothy M. 2012. *Nonhuman primates in biomedical research: Biology and management*. San Diego (US): American College of Laboratory animal medicine series.
- Alikodra HS. 2012. *Konservasi sumber daya alam dan lingkungan: pendekatan ecosophy bagi penyelamatan bumi*. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University Press.
- Amrullah S.H., Dirhamzah, Rustam A., Hasyimuddin. 2021. Tinjauan umum perilaku hewan di indonesia dan integrasi keilmuannya. *Jurnal teknoains* : Volume 15, Nomor 1, Januari-April 2021, hlm. 1-8.
- Atmoko SSU, van Schaik CP. 2010. The Natural History of Sumatran Orangutan (*Pongo abelii*). Dalam: Gursky-Doyen S, Supriatna J, editors. *Indonesia Primates*. New York (USA): Springer Science+Business Media.
- Azizah D.R., Yulianti F. 2023. Perubahan Tingkah Laku Hewan Dalam Mendeteksi Datangnya Bencana Alam. *Jurnal Pendidikan Geosfer: Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh*. <http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/JPG>
- Barnard, Chris. 2004. *Animal Behaviour; Mechanism, Development, Function and Evolution*. London: Peardon Education Limited.
- Crosby K. 2015. Effects of natural vs non-natural environmental enrichment items on captive orangutan behavior. (Thesis). Indiana (US): Department of Biology Ball State University Muncie.
- Dalimunthe N.P., Alikodra H.S., Iskandar E., Atmoko S.S. 2021. The activity budgets of captive orangutan (*Pongo pygmaeus*) in two different Indonesian zoos. *Jurnal Biodiversitas* ; Volume 22, Number 4, April 2021, Pages: 1912-1919.
- [FAWC] Farm Animal Welfare Council. 2009. Lima Aspek Kebebasan Satwa [internet]. [diunduh 19 Juli 2018]. Tersedia pada <http://www.fawc.org.uk/freedoms.html>
- Groves C. 2001. *Primate Taxonomy*. Smithsonian Institution Press: Washington Napier, J. R. and Napier, P.H. A. 1976. *Hand Book of Living Primate*. London (UK): Academic Press.

- Galdikas BMF. 1988. Orangutan diet, range, and activity at Tanjung Puting, Central Borneo. *Int J Primatol*. 9: 1-35.
- IUCN. 2016. IUCN Red List of Threatened Species. IUCN, Gland, Switzerland. [Http://www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) [accessed 2 Agustus 2018].
- Kahbya I.A, Raisa E.E, Irmayania, Artinaha M , Amrullaha S.H. 2023. Perilaku Terajar (*Learned Behavior*). Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
https://www.researchgate.net/publication/370410422_Perilaku_Terajar_Learned_Behavior
- Martin P, Bateson P. 1988. *Measuring behaviour and introduction guide* 2nd ed. Cambridge (US): Cambridge Univ Pr.
- Morrogh-Bernard HC et al. 2009. *Orangutan activity budgets and diet*. Dalam: Wich SA, Atmoko SSU, Setia TM, van Schaik CP, editors. *Orangutans: Geographic variation in behavioral ecology and conservation*. Oxford (UK): Oxford University Press. p 119-134.
- Nurhaidaa , Asa W. , Nura M.R. , Yunadiaa , Yantia W. , Indra Riyantia , Saharaa S.A. , Nurinayah Saida , Muh. Al-amina , Syarif Hidayat amrullaha. 2023. Perilaku Kawin, Komunikasi, Migrasi Dan Navigasi Pada Hewan. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
<https://www.researchgate.net/publication/37>
- Popowati. 1997. *Menunjang Proses Rehabilitasi Orangutan*. Kalimantan Tengah (ID): Orangutan Care Center and Quarantine (OCCQ).
- Rennie AE, Buchanan-Smith HM. 2006. Refinement of the use of non-human primates on scientific research. Part II: housing, husbandry and acquisition. *Anim Wel*. 15: 215-238.
- Rowe N. 1996. *The Pictorial Guide to the Living Primates*. Minnesota (US): Pogonias press.
- Schmidt D. 2004. *Orangutan Husbandry Manual: Nutrition Chapter*. Chicago (US): Lincoln Park Zoo.
- Simanjuntak CN. 1998. Perilaku bermain anak orangutan (*Pongo pygmaeus*) di Katambe, Taman Nasional Gunung Leuseur, Aceh Tenggara. *J Primatol Indo*. 2: 30-33.

- Sugardjito J, van Hoff JARAM. 1986. Age-sex class differences in the positional behaviour of the Sumatran orang utan (*Pongo pygmaeus abelii*) in the Gunung Leuser National Park, Indonesia. *Folia Primatol.* (47): 14-25
- Timotius K.H.2018. Otak dan Perilaku. Yogyakarta: CV.ANDI OFFSET, Perpustakaan Nasional, Katalog Dalam Terbitan (KDT)
- Thorpe SKS, Crompton RH. 2006. Orangutan positional behavior and the nature of arboreal locomotion in hominoidea. *Am J Phys Anthropol.* 131:384–401.
- Winarno G.D., Harianto. 2013. Perilaku Satwa Liar (Ethology). Bandar Lampung : AURA CV. Anugrah Utama Raharja.
- Zuhra R, Perwitasari FD, Iskandar E. 2009. Aktivitas Makan Orangutan (*Pongo pygmaeus*) di Pusat Primata Schmutzer, Jakarta. *J Primatol Indo.* 2: 21-26.

BAB 11

EKOLOGI HEWAN

Oleh Alexander Kurniawan Sariyanto Putera

11.1 Pendahuluan

Ekologi hewan adalah cabang ilmu biologi yang mempelajari bagaimana hewan berinteraksi satu sama lain dan dengan lingkungannya. Dalam bab ini, kami akan menjelaskan konsep dasar ekologi hewan, termasuk populasi, komunitas, dan ekosistem. Kami juga akan membahas berbagai jenis interaksi antar hewan, adaptasi ekologi, serta dampak manusia terhadap ekosistem hewan.

Ekologi hewan adalah disiplin ilmu yang memungkinkan kita untuk memahami peran hewan dalam ekosistem alam. Dengan memahami bagaimana hewan berinteraksi satu sama lain dan dengan lingkungan mereka, kita dapat mengambil langkah-langkah untuk melestarikan keanekaragaman hayati dan memahami dampak perubahan lingkungan pada hewan.

11.2 Populasi dan Dinamika Populasi

Konsep dasar pertama adalah populasi hewan. Populasi merupakan kelompok individu dari spesies yang mendiami wilayah geografis yang sama. Dinamika populasi melibatkan perubahan dalam jumlah individu dalam populasi seiring waktu. Gagasan ini diperkenalkan oleh Verhulst (1838) dan dikenal sebagai model pertumbuhan populasi Verhulst.

1. Populasi dan Dinamika Populasi Hewan: Konsep Dasar dalam Ekologi Hewan

Populasi hewan adalah kelompok individu dari spesies yang mendiami suatu wilayah geografis dalam suatu periode waktu tertentu. Konsep ini memungkinkan kita untuk memahami interaksi antara individu-individu dalam spesies yang sama dan bagaimana populasi berkembang seiring waktu. Populasi hewan dapat berfluktuasi dalam ukuran dan komposisi,

tergantung pada sejumlah faktor seperti kelahiran, kematian, imigrasi, dan emigrasi.

Dinamika populasi mengacu pada perubahan dalam ukuran dan komposisi populasi hewan selama beberapa periode waktu.

Konsep ini mencakup beberapa aspek penting:

- a. Laju Kelahiran (*Birth Rate*): Ini adalah jumlah individu yang lahir dalam populasi selama suatu periode waktu. Laju kelahiran dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk tingkat reproduksi individu dalam populasi.
- b. Laju Kematian (*Death Rate*): Ini adalah jumlah individu yang mati dalam populasi selama periode waktu yang sama. Laju kematian dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti predasi, penyakit, dan faktor lingkungan.
- c. Laju Pertumbuhan (*Growth Rate*): Laju pertumbuhan populasi adalah perbedaan antara laju kelahiran dan laju kematian. Jika laju kelahiran lebih besar daripada laju kematian, populasi akan tumbuh, dan sebaliknya.
- d. Imigrasi dan Emigrasi: Selain kelahiran dan kematian, populasi juga dapat dipengaruhi oleh imigrasi (individu yang masuk ke populasi) dan emigrasi (individu yang keluar dari populasi). Hal ini penting dalam kasus populasi yang berinteraksi dengan populasi lain di sekitarnya.
- e. Struktur Usia dan Jenis Kelamin: Struktur usia dan jenis kelamin dalam populasi juga memiliki pengaruh penting. Distribusi kelompok umur dan jenis kelamin dalam populasi dapat memengaruhi laju kelahiran dan kematian.

2. Interaksi Antarspesies: Konsep Dasar dalam Ekologi Hewan

Interaksi antarspesies merujuk pada hubungan dan interaksi antara dua atau lebih spesies yang berbagi lingkungan yang sama. Konsep ini membentuk dasar pemahaman tentang bagaimana hewan saling memengaruhi dan berinteraksi dalam ekosistem. Terdapat beberapa jenis interaksi antarspesies yang mendasar, termasuk:

- a. Predasi: Interaksi ini adalah hubungan antara predator dan mangsa di mana predator memburu, membunuh, dan mengkonsumsi mangsa. Interaksi ini memainkan peran penting dalam mengatur populasi dan mempengaruhi struktur komunitas (Paine 1969).
- b. Kompetisi: Kompetisi terjadi ketika dua atau lebih spesies bersaing untuk sumber daya yang sama, seperti makanan, tempat berlindung, atau pasangan kawin. Menurut Gaues (1934), interaksi ini dapat memengaruhi distribusi dan kelangsungan hidup spesies.
- c. Simbiosis: Simbiosis adalah hubungan akrab antara dua spesies yang hidup bersama. Ini mencakup berbagai jenis hubungan (Smith & Read 2008), termasuk mutualisme (kedua spesies saling menguntungkan), komensalisme (satu spesies diuntungkan tanpa memengaruhi yang lain), dan parasitisme (satu spesies merugikan yang lain).
- d. Komunikasi dan Interaksi Sosial: Banyak spesies hewan berkomunikasi dan memiliki interaksi sosial yang kompleks (Bradbury & Vehrencamp 2011). Interaksi ini termasuk perilaku seperti kelompok sosial, hierarki, dan komunikasi suara atau visual.
- e. Herbivori: Interaksi antara hewan herbivora dan tumbuhan, di mana hewan mengkonsumsi tumbuhan sebagai makanan mereka. Interaksi ini mempengaruhi komposisi tumbuhan di suatu daerah (Crawley 2013).

Interaksi antarspesies adalah konsep dasar dalam ekologi hewan yang membantu kita memahami bagaimana hewan saling memengaruhi dalam ekosistem. Konsep ini juga berperan dalam memahami stabilitas ekosistem, struktur komunitas, dan evolusi spesies. Studi mendalam tentang interaksi antarspesies membantu melindungi dan melestarikan keanekaragaman hayati dan menjaga keseimbangan ekosistem.

3. Adaptasi Ekologi

Konsep ketiga adalah adaptasi ekologi. Adaptasi adalah perubahan dalam struktur, perilaku, atau fisiologi hewan yang memungkinkan mereka untuk bertahan dan berkembang dalam lingkungan tertentu. Charles Darwin adalah tokoh penting dalam pengembangan konsep adaptasi.

Adaptasi Ekologi Hewan. Konsep ini merujuk pada berbagai cara di mana hewan telah berubah dan beradaptasi dengan lingkungan mereka untuk bertahan, berkembang, dan bereproduksi. Konsep ini adalah salah satu pilar penting dalam pemahaman tentang bagaimana hewan menyesuaikan diri dengan lingkungan mereka. Beberapa contoh adaptasi ekologi hewan termasuk:

- a. Adaptasi Morfologis: Interaksi ini mencakup perubahan fisik dalam struktur tubuh hewan yang memungkinkan mereka untuk berfungsi lebih baik dalam lingkungan tertentu (Losos 2009). Contohnya adalah ekor panjang pada burung pemangsa seperti elang untuk manuver dalam udara.
- b. Adaptasi Perilaku: Hewan sering kali mengembangkan perilaku tertentu untuk memaksimalkan kelangsungan hidup mereka (Alcock 2013). Misalnya, hewan pemangsa seperti singa mengembangkan perilaku berburu dalam kelompok untuk meningkatkan kesuksesan dalam berburu.
- c. Adaptasi Fisiologis: Ini adalah perubahan dalam sistem fisiologis hewan yang memungkinkan mereka bertahan dalam kondisi lingkungan yang ekstrem (Schmidt-Nielsen 1997). Misalnya, hewan yang hidup di lingkungan yang dingin dapat memiliki sistem peredaran darah yang mengurangi kerusakan akibat pembekuan.
- d. Adaptasi Metabolik: Hewan sering mengubah metabolisme mereka untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan energi sesuai dengan lingkungan mereka (Brown dan West 2000). Misalnya,

hewan gurun mengurangi kehilangan air dengan mengkonservasi cairan tubuh.

- e. Adaptasi Khusus Spesies: Beberapa spesies mengembangkan adaptasi yang sangat khusus sesuai dengan kebutuhan dan tuntutan lingkungan mereka (Stuart-Fox dan Whiting 2006). Contoh terkenal adalah bunglon yang mampu mengubah warna kulitnya untuk menyamarkan diri dari predator atau menarik pasangan kawin.

Adaptasi ekologi hewan adalah konsep dasar yang membantu kita memahami bagaimana hewan telah berubah seiring waktu untuk bertahan dalam berbagai lingkungan. Melalui studi adaptasi ekologi, kita dapat lebih baik memahami evolusi spesies dan mengapa beberapa spesies berhasil mengkolonisasi berbagai lingkungan ekstrem. Adaptasi juga mencerminkan evolusi dalam tindakan dan membantu menjelaskan beragamnya bentuk kehidupan di seluruh dunia.

4. Manusia dan Ekologi Hewan

Dalam bab ini, kami akan menggambarkan dampak aktivitas manusia terhadap ekologi hewan. Kami akan membahas perubahan habitat, perburuan berlebihan, polusi, dan perubahan iklim, serta upaya untuk mengatasi tantangan ini melalui konservasi dan manajemen berkelanjutan.

- a. Manusia dan Ekologi Hewan. Konsep ini merujuk pada peran manusia dalam memengaruhi ekosistem dan kehidupan hewan. Manusia memiliki dampak yang signifikan pada ekologi hewan melalui berbagai aktivitas seperti perburuan, perubahan habitat, perubahan iklim, dan polusi. Ini adalah konsep yang sangat penting dalam pemahaman bagaimana manusia memengaruhi keberlanjutan ekosistem dan keanekaragaman hayati.

Beberapa aspek kunci dalam konsep ini meliputi:

- 1) Perburuan dan Overexploitasi: Manusia sering berburu hewan untuk daging, kulit, atau perhiasan,

yang dapat mengancam kelangsungan hidup beberapa spesies. Overexploitasi adalah praktik perburuan yang berlebihan dan dapat menyebabkan penurunan drastis populasi hewan (Milner-Gulland dan Mace 1998).

- 2) Perubahan Habitat: Manusia sering merusak atau mengubah habitat alam yang digunakan oleh hewan. Kegiatan seperti deforestasi, pembangunan, dan pertanian berdampak pada kehilangan habitat dan fragmentasi habitat, yang dapat mengancam banyak spesies (Noss *et al.* 1997).
- 3) Perubahan Iklim: Manusia juga berperan dalam perubahan iklim global melalui emisi gas rumah kaca. Menurut Parmesan (2006), perubahan iklim dapat mempengaruhi pola migrasi, distribusi geografis, dan ekologi spesies hewan.
- 4) Polusi: Polusi lingkungan oleh manusia dapat meracuni dan merusak lingkungan hewan, terutama air dan tanah. Menurut Anderson dan Hunt (2003), ini dapat memiliki dampak negatif pada kesehatan populasi hewan.
- 5) Konservasi dan Pelestarian: Manusia juga memainkan peran penting dalam usaha konservasi dan pelestarian hewan. Banyak upaya konservasi dilakukan untuk melindungi spesies terancam punah dan menjaga keanekaragaman hayati (Soulé & Terborgh 2010).

Konsep dasar manusia dan ekologi hewan adalah kunci dalam memahami dampak aktivitas manusia pada lingkungan alam dan keanekaragaman hayati. Melalui pemahaman ini, kita dapat mengembangkan tindakan konservasi yang efektif untuk melindungi spesies yang terancam punah dan menjaga keberlanjutan ekosistem.

5. Ekosistem dan Daur Biogeokimia

Ekosistem adalah konsep dasar lain dalam ekologi hewan. Ekosistem mencakup semua komponen biotik dan abiotik

dalam suatu daerah dan bagaimana mereka saling berinteraksi (Odum 1957). Daur biogeokimia adalah pergerakan unsur kimia melalui ekosistem.

Ekosistem dan Daur Biogeokimia dalam Ekologi Hewan:
Konsep Dasar:

Ekosistem adalah sistem kompleks yang terdiri dari interaksi antara organisme hidup, termasuk hewan, tumbuhan, dan mikroorganisme, dengan faktor-faktor fisik dan kimia dalam lingkungan mereka. Konsep ini membantu kita memahami bagaimana hewan berinteraksi dengan organisme lain, serta dengan aspek lingkungan seperti tanah, air, iklim, dan sumber daya alam. Daur Biogeokimia adalah pergerakan unsur kimia melalui ekosistem, termasuk sirkulasi unsur-unsur seperti nitrogen, karbon, fosfor, dan air. Konsep ini menjelaskan bagaimana unsur-unsur ini diambil, digunakan, dan dilepaskan kembali dalam ekosistem oleh organisme hidup dan proses geokimia. Beberapa aspek kunci dalam konsep ini meliputi:

- a. Siklus Biogeokimia: Konsep ini mencakup siklus biogeokimia tertentu, seperti siklus nitrogen, siklus karbon, dan siklus air (Schlesinger & Bernhardt 2013). Misalnya, dalam siklus nitrogen, nitrogen diubah dari bentuk gas menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh organisme oleh proses seperti fiksasi nitrogen oleh bakteri. Siklus-siklus ini memainkan peran penting dalam menggerakkan nutrisi melalui ekosistem.
- b. Ekosistem Air Tawar dan Perairan: Ekosistem air tawar dan perairan sangat penting dalam ekologi hewan, karena banyak hewan tergantung pada sumber air untuk bertahan (Likens & Bormann 1995). Siklus air, pola aliran sungai, dan lingkungan air memiliki dampak signifikan pada organisme air.
- c. Ekosistem Terrestrial: Ekosistem darat, termasuk hutan, savana, dan padang rumput, juga memiliki peran penting dalam ekologi hewan. Menurut Chapin & Vitousek (2011), proses biogeokimia seperti

dekomposisi bahan organik dan sirkulasi karbon mempengaruhi ketersediaan sumber daya bagi hewan.

- d. **Pertukaran Nutrisi:** Nutrisi seperti nitrogen dan fosfor adalah faktor penting dalam pertumbuhan dan perkembangan hewan. Ekosistem mengatur distribusi dan ketersediaan nutrisi ini melalui daur biogeokimia (Elser dan Urabe 1999).

Konsep dasar ekosistem dan daur biogeokimia dalam ekologi hewan membantu kita memahami bagaimana lingkungan alam memengaruhi organisme, termasuk hewan, dan bagaimana organisme tersebut memengaruhi ekosistem secara keseluruhan. Ini adalah dasar bagi pemahaman dinamika populasi, ketersediaan sumber daya, dan perubahan ekologi hewan dalam konteks ekosistem yang lebih luas.

6. Konservasi Ekologi Hewan: Konservasi ekologi hewan adalah upaya untuk melindungi dan melestarikan spesies hewan dan ekosistem alam. Ini adalah konsep dasar dalam ekologi hewan yang mendukung keberlanjutan ekosistem dan keanekaragaman hayati. Beberapa aspek kunci dalam konservasi ekologi hewan meliputi:

- a. **Pembentukan Kawasan Konservasi:** Penetapan kawasan konservasi seperti taman nasional dan cagar alam untuk melindungi habitat dan spesies yang terancam punah (Terborgh *et al.* 2002).
- b. **Reintroduksi dan Rehabilitasi:** Upaya untuk memperkenalkan kembali spesies yang terancam punah ke habitat alaminya atau untuk merawat hewan yang terluka atau terancam (Seddon *et al.* 2007).
- c. **Pelestarian Sumber Daya:** Konservasi juga mencakup upaya untuk menjaga sumber daya alam yang digunakan oleh hewan (Salafsky dan Wollenberg 2000), seperti lahan, air, dan sumber daya makanan.

Konservasi ekologi hewan merupakan komitmen penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem dan mencegah penurunan drastis dalam keanekaragaman hayati. Ini adalah langkah penting dalam meminimalkan dampak negatif

kontribusi manusia terhadap ekologi hewan dan lingkungan alam.

11.3 Konsep Dasar Ekologi Hewan dalam Berbagai Perspektif

1. Konsep Dasar: Ekologi Hewan dalam Era Perubahan Iklim

Salah satu konsep terkini dalam ekologi hewan adalah bagaimana hewan beradaptasi dan merespons perubahan iklim yang cepat. Penelitian tentang perubahan fenologi (waktu aktivitas dan migrasi hewan) dalam merespons perubahan iklim adalah salah satu aspek penting (Parmesan dan Yohe 2003). Ekologi Hewan dalam Era Perubahan Iklim adalah konsep yang menyoroti dampak perubahan iklim global pada spesies hewan dan ekosistem. Perubahan iklim telah menjadi tantangan ekologis utama dalam dekade terakhir, dengan dampak signifikan pada distribusi geografis, perilaku, dan keseimbangan ekologi hewan. Beberapa aspek kunci dalam konsep ini meliputi:

- a. **Perubahan Distribusi:** Perubahan iklim telah memengaruhi distribusi geografis spesies hewan. Menurut Parmesan dan Yohe (2003), beberapa spesies mengalami pergeseran utara atau ke ketinggian yang lebih tinggi untuk mencari suhu yang lebih sesuai.
- b. **Perubahan Musim dan Siklus Hidup:** Perubahan iklim dapat mempengaruhi musim, yang berdampak pada siklus hidup hewan (Visser & Both 2005) seperti migrasi, reproduksi, dan hibernasi.
- c. **Interaksi Antar-Spesies:** Perubahan iklim juga dapat memengaruhi interaksi antarspesies (Tylianakis *et al.* 2008), seperti relasi predator-mangsa atau relasi simbiosis, dengan mengubah ketersediaan sumber daya atau lingkungan.
- d. **Konservasi dan Manajemen:** Perubahan iklim juga menuntut tindakan konservasi dan manajemen yang adaptif (Hannah *et al.* 2007) untuk melindungi spesies

hewan yang terancam punah dan menjaga keberlanjutan ekosistem.

Perubahan iklim merupakan tantangan global yang memengaruhi banyak aspek ekologi hewan. Upaya konservasi dan manajemen yang adaptif menjadi sangat penting dalam menjaga keanekaragaman hayati dan keseimbangan ekosistem dalam era perubahan iklim. Ini adalah area penelitian yang terus berkembang dalam ekologi hewan, karena para ilmuwan dan praktisi berusaha untuk memahami dampak perubahan iklim dan mengembangkan strategi yang efektif untuk melindungi spesies hewan dan ekosistem di seluruh dunia.

2. Konsep Dasar: Ekologi Hewan di Lingkungan yang Terfragmentasi

Perubahan besar dalam penggunaan lahan telah menyebabkan fragmentasi habitat yang signifikan, yang memiliki dampak besar pada ekologi hewan. Penelitian tentang bagaimana hewan bergerak dan bertahan dalam lingkungan yang terfragmentasi (Brudvig *et al.* 2015) adalah topik penting dalam ekologi hewan kontemporer.

3. Konsep Dasar: Ekologi Hewan dalam Era Genomika

Perkembangan dalam genomika telah memungkinkan para peneliti untuk memahami adaptasi dan evolusi hewan dengan tingkat resolusi yang lebih tinggi. Studi tentang genomika adaptasi dan spesiasi (Ellegren dan Sheldon 2008) adalah contoh konsep dasar yang berdampak besar.

Ekologi Hewan dalam Era Genomika adalah konsep yang mencerminkan dampak revolusi genomika terhadap pemahaman kita tentang ekologi hewan. Genomika adalah ilmu yang mempelajari genom, yaitu seluruh informasi genetik dalam organisme. Era genomika telah membuka pintu untuk memahami lebih dalam bagaimana informasi genetik memengaruhi perilaku, adaptasi, dan interaksi ekologi hewan. Beberapa aspek kunci dalam konsep ini meliputi:

- a. Genomika Populasi: Studi genomika populasional memungkinkan kita untuk memahami variasi genetik dalam populasi hewan dan bagaimana variasi ini dapat memengaruhi respons terhadap tekanan lingkungan dan evolusi (Luikart *et al.* 2010).
- b. Genetika Keanekaragaman Hayati: Genomika telah memberikan wawasan mendalam tentang genetika keanekaragaman hayati (Ellegren 2014), termasuk perbedaan dalam spesies yang tampaknya serupa.
- c. Ekologi Perilaku dan Genomika: Studi tentang hubungan antara perilaku hewan (Robinson *et al.* 2008), seperti reproduksi dan interaksi sosial, dengan ekspresi genetik dan variabilitas genetik.
- d. Genomika Lingkungan: Bagaimana faktor lingkungan memengaruhi ekspresi genetik dan cara organisme beradaptasi terhadap perubahan iklim dan kondisi lingkungan (Derry *et al.* 2019).
- e. Genomika Konservasi: Penerapan genomika dalam upaya konservasi untuk melindungi spesies terancam punah dan memahami keberlanjutan ekosistem (Shafer *et al.* 2015).

Era genomika telah membuka peluang besar dalam ekologi hewan dengan memberikan wawasan mendalam tentang bagaimana genetika berkontribusi pada perilaku, adaptasi, dan interaksi hewan. Genomika membantu kita memahami lebih baik bagaimana organisme beradaptasi terhadap lingkungan yang berubah dan bagaimana kita dapat merencanakan strategi konservasi yang lebih efektif. Hal ini juga mencerminkan hubungan erat antara ilmu genetika dan ekologi dalam upaya untuk memahami dan melindungi keanekaragaman hayati di planet ini.

4. Konsep Dasar: Interaksi Hewan dengan Mikroorganisme

Pemahaman tentang hubungan antara hewan dan mikroorganisme (McFall-Ngai 2013), terutama mikrobiota

usus, telah menjadi topik penelitian penting dalam ekologi hewan kontemporer.

5. Konsep Dasar: Ekologi Hewan dalam Konteks Konservasi

Pentingnya menjaga keanekaragaman hayati dan ekosistem telah menjadi perhatian utama dalam ekologi hewan. Soulé dan Terborgh (2010) menyatakan bahwa konsep dasar ini mencakup studi mengenai desain kawasan konservasi, manajemen populasi yang terancam punah, dan rehabilitasi habitat alami.

Konservasi ekologi hewan adalah upaya untuk melindungi dan melestarikan spesies hewan serta habitat mereka. Konsep ini didasarkan pada pemahaman bahwa keanekaragaman hayati dan ekosistem yang seimbang sangat penting untuk keseimbangan ekologi dan kesejahteraan manusia. Beberapa aspek kunci dalam konservasi ekologi hewan meliputi:

- a. Perlindungan Spesies Terancam: Konservasi ekologi hewan berfokus pada perlindungan spesies yang terancam punah atau terhadap ancaman serius. Upaya ini mencakup pemantauan populasi, pembentukan kawasan konservasi, dan strategi pemulihan (Soulé dan Terborgh 2010).
- b. Pengelolaan Habitat: Salah satu aspek utama konservasi adalah menjaga habitat alam yang diperlukan oleh spesies hewan. Terborgh *et al.* (2002) menyatakan konsep ini termasuk menjaga hutan, savana, lautan, dan ekosistem lainnya.
- c. Reintroduksi dan Rehabilitasi: Upaya untuk memperkenalkan kembali spesies yang terancam punah ke habitat alamnya atau merawat hewan yang terluka atau terancam (Seddon *et al.* 2007).
- d. Konservasi Genetik: Konservasi ekologi hewan juga mencakup pelestarian keragaman genetik dalam spesies untuk mempertahankan potensi evolusi dan adaptasi (Frankham *et al.* 2002)

- e. Pendidikan dan Kesadaran Masyarakat: Mendidik masyarakat tentang pentingnya konservasi hewan adalah aspek penting. Kesadaran masyarakat dapat mendukung upaya konservasi dan penggalakan dana (Kellert 1993).

Konservasi ekologi hewan adalah konsep fundamental dalam ekologi hewan yang mendukung keberlanjutan ekosistem dan perlindungan keanekaragaman hayati. Ini memainkan peran penting dalam menjaga ekosistem yang seimbang dan memastikan bahwa spesies hewan yang mendiami planet ini dapat bertahan dalam jangka panjang. Upaya konservasi ekologi hewan melibatkan kolaborasi antara ilmuwan, pelestari alam, pemerintah, dan masyarakat, serta menjadi bidang penelitian yang terus berkembang dan penting di dunia saat ini.

11.4 Kesimpulan

Ekologi hewan adalah bidang yang luas dan menarik yang memungkinkan kita untuk lebih memahami kompleksitas alam. Dalam bab ini, kami telah menjelaskan konsep dasar ekologi hewan, interaksi antar hewan, adaptasi ekologi, dan dampak manusia pada ekosistem hewan. Pemahaman ini penting dalam upaya kita untuk menjaga keberlanjutan alam dan melestarikan keanekaragaman hayati. Bab ini hanyalah pengantar singkat tentang topik ekologi hewan yang luas dan mendalam. Semoga bab ini dapat menjadi sumber inspirasi dan pemahaman yang berguna bagi mereka yang tertarik dalam memahami dan melestarikan alam kita.

DAFTAR PUSTAKA

- Alcock, J. 2013. *Animal Behavior: An Evolutionary Approach*. Sinauer Associates.
- Anderson, B. S., & Hunt, J. W. 2003. Applying ligand and receptor-based tools to predict the effects of contaminants on fish reproduction. *Aquatic Toxicology*, 65(4), 405-425.
- Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. 2006. *Ecology: from individuals to ecosystems*. Wiley.
- Brown, J. H., & West, G. B. 2000. Scaling in biology. *Journal of the American Society of Nephrology*, 11(12), 2382-2388.
- Carson, R. 1962. *Silent Spring*. Houghton Mifflin
- Caswell, H. 2001. *Matrix population models: construction, analysis, and interpretation*. Sinauer Associates.
- Chapin, F. S., Matson, P. A., & Vitousek, P. 2011. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer.
- Darwin, C. 1859. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. John Murray.
- Ellegren, H., & Sheldon, B. C. 2008. Genetic basis of fitness differences in natural populations. *Nature*, 452(7184), 169-175.
- Elser, J. J., & Urabe, J. 1999. The stoichiometry of consumer-driven nutrient recycling: theory, observations, and consequences. *Ecology*, 80(3), 745-751.
- Frankham, R., Ballou, J. D., & Briscoe, D. A. 2002. *Introduction to conservation genetics*. Cambridge University Press.
- Gause, G. F. 1934. *The Struggle for Existence*. Williams & Wilkins.
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., ... & Townshend, J. R. 2015. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2), e1500052.
- Hannah, L., Midgley, G. F., Anelman, S., Araújo, M. B., Hughes, G., Martinez-Meyer, E., ... & Williams, P. 2007. Protected area needs in a changing climate. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(3), 131-138.

- Kellert, S. R. 1993. Values and perceptions of invertebrates. *Conservation Biology*, 7(4), 845-855.
- Krebs, C. J. 2009. *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. Benjamin Cummings.
- Likens, G. E., & Bormann, F. H. 1995. *Biogeochemistry of a Forested Ecosystem*. Springer.
- Losos, J. B. 2009. *Lizards in an Evolutionary Tree: Ecology and Adaptive Radiation of Anoles*. University of California Press.
- Milner-Gulland, E. J., & Mace, R. 1998. *Conservation of biological resources*. Wiley.
- Noss, R. F., O'Connell, M. A., Murphy, D. D., & Weston, K. 1997. *The Science of Conservation Planning: Habitat Conservation under the Endangered Species Act*. Island Press.
- Odum, E. P. 1957. *Fundamentals of Ecology*. Saunders.
- Paine, R. T. 1969. A note on trophic complexity and community stability. *The American Naturalist*, 103(929), 91-93.
- Parnesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 637-669.
- Parnesan, C., & Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918), 37-42.
- Salafsky, N., & Wollenberg, E. 2000. Linking livelihoods and conservation: A conceptual framework and scale for assessing the integration of human needs and biodiversity. *World Development*, 28(8), 1421-1438.
- Schlesinger, W. H., & Bernhardt, E. S. 2013. *Biogeochemistry: An analysis of global change*. Academic Press.
- Schmidt-Nielsen, K. 1997. *Animal Physiology: Adaptation and Environment*. Cambridge University Press.
- Seddon, P. J., Armstrong, D. P., & Maloney, R. F. 2007. Developing the science of reintroduction biology. *Conservation Biology*, 21(2), 303-312.
- Seddon, P. J., Armstrong, D. P., & Maloney, R. F. 2007. Developing the science of reintroduction biology. *Conservation Biology*, 21(2), 303-312.

- Smith, J. E., & Read, A. F. 2008. The cost of promiscuity: sexual transmission of *Nosema* microsporidian parasites in polyandrous honey bees. *Ecology*, 89(8), 1813-1820.
- Soulé, M. E., & Terborgh, J. 2010. Conserving nature at regional and continental scales: a scientific program for North America. *BioScience*, 60(8), 612-621.
- Soulé, M. E., & Terborgh, J. 2010. Conserving nature at regional and continental scales: a scientific program for North America. *BioScience*, 60(8), 612-621.
- Stuart-Fox, D., & Whiting, M. J. 2006. Evolution of color variation in dragon lizards: Quantitative tests of the role of crypsis and local adaptation. *Evolution*, 60(5), 1022-1031.
- Terborgh, J., van Schaik, C., Davenport, L., & Rao, M. 2002. *Making parks work: Strategies for preserving tropical nature*. Island Press.
- Tylianakis, J. M., Didham, R. K., Bascompte, J., & Wardle, D. A. 2008. Global change and species interactions in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11(12), 1351-1363.
- Verhulst, P. F. 1838. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Correspondance mathématique et physique*, 10, 113-121.
- Visser, M. E., & Both, C. 2005. Shifts in phenology due to global climate change: the need for a yardstick. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272(1581), 2561-2569.

BAB 12

ADAPTASI FISILOGI HEWAN

Oleh Meyta Wulandari

12.1 Pendahuluan

Adaptasi adalah mekanisme fisiologis atau karakteristik organisme yang mengalami perubahan pada struktur genetik suatu populasi sehingga memungkinkan hewan untuk meningkatkan peluangnya untuk bertahan hidup dan bereproduksi di lingkungannya (Hill, R et al. 2012; Moyes, C et al. 2014). Adaptasi merupakan hasil yang diharapkan dari proses seleksi alam yang menghasilkan varian-varian paling menguntungkan dalam suatu populasi sepanjang periode waktu evolusi yang panjang. Evolusi adalah proses seleksi alam yang mempengaruhi variasi biologis, tanpa variabilitas antar individu, tidak akan ada adaptasi yang berkelanjutan terhadap lingkungan yang stabil ataupun dinamis dan tidak terjadi evolusi (Hickman et al. 2017). Respon fisiologis suatu organisme terhadap perubahan lingkungan mikro dan makronya, memberikan peningkatan kemampuan kepada suatu organisme untuk beradaptasi dengan perubahan kondisi lingkungan dengan bertindak pada tingkat seluler, fisiologis, metabolisme, dan biokimia. Organisme yang hidup diberbagai macam lingkungan memiliki kemampuan untuk bertahan hidup dan menyesuaikan diri dengan lingkungannya (Asres, Aleme et al. 2014).

12.2 Jenis-Jenis Adaptasi

Karakter adaptif seperti morfologi, fisiologi dan perilaku suatu individu ditentukan oleh proses seleksi alam dan sejarahnya sepanjang waktu evolusi, filogeninya. Ada tiga jenis adaptasi yaitu; struktural, fisiologis, dan perilaku (Asres, Aleme et al. 2014).

1. Adaptasi struktural atau adaptasi morfologi merupakan perubahan karakteristik unik eksternal tubuh yang dapat membantu dalam bertahan hidup di lingkungan, contohnya kaki, ekor, telinga, paruh, sayap, bulu ataupun sisik. Pada

unggas air seperti bebek dan angsa memiliki kaki berselaput yang membantunya berenang untuk mencari makanan. Selain itu, struktur telinga kelinci yang besar membantu dalam mendengarkan tanda bahaya dari predator. Perubahan struktur ataupun modifikasi bagian tubuh organisme merupakan adaptasi yang lebih lambat dibandingkan dengan adaptasi fisiologi dan perilaku (Sumarto et al, 2016).

2. Adaptasi perilaku adalah cara bagi hewan menghadapi lingkungan untuk bertahan hidup seperti menggerakkan tubuhnya, hibernasi dan berkomunikasi.
Serigala melolong dan menyalak satu sama lain, terutama pada malam hari sebagai bentuk komunikasi diantara koloninya.
3. Adaptasi fisiologi adalah perubahan lingkungan internal organisme yang memungkinkannya mengatasi perubahan lingkungan eksternal dengan lebih baik.

Laba-laba dari famili Araneidae memproduksi dua jenis serat jaring. Satu jenis serat lengket di bagian jaringnya untuk menangkap serangga sebagai makanan, dan satu jenis serat tidak lengket agar dapat dilintasi oleh laba-laba.

Lebah memiliki adaptasi fisiologi melepaskan feromon, bahan kimia tertentu untuk memberi tahu lebah lain tentang kesehatan sarangnya.

12.3 Adaptasi Fisiologi

Adaptasi fisiologis umumnya melibatkan respon individu terhadap rangsangan tertentu. Peran adaptasi fisiologis dalam organisme dan lingkungan diantaranya adalah:

1. Adaptasi fisiologis membantu kelangsungan hidup organisme di relung ekologis.
 2. Adaptasi fisiologis membantu pertumbuhan dan perkembangan normal
 3. Adaptasi fisiologis membantu pengaturan suhu tubuh, tekanan, keseimbangan ionik dan tingkat metabolisme.
- Lingkungan merupakan faktor yang sangat penting dalam

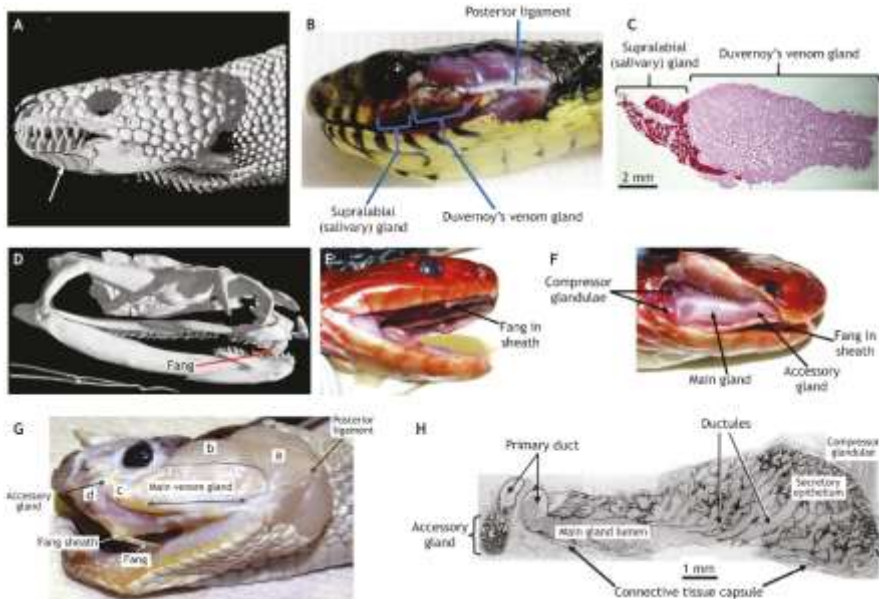
pencapaian kondisi fisik organisme. Suhu, iklim, ketinggian tempat tinggal akan memberikan dampak pada terjadinya adaptasi fisiologis (Sudiana, I., 2013)

4. Adaptasi fisiologis dalam konservasi sumber daya (air/nutrisi) atau memaksimalkan sumber daya seperti matahari atau ion. Adaptasi fisiologi yang dimiliki oleh hewan berdasarkan ketersediaan makanannya di alam. Jika makanan cukup, maka laju metabolisme tubuh serta aktivitasnya berada pada level yang normal, namun jika sumber makanan kurang maka laju metabolisme dan aktivitas harian akan ditekan. Ketersediaan nutrisi yang terbatas dalam jangka waktu tertentu akan membatasi kemampuan organisme untuk bereproduksi sehingga hal ini disebut sebagai faktor pembatas (*limiting factor*) lingkungan (Sumarto et al, 2016) .

Berikut ini merupakan adaptasi fisiologi yang terjadi pada hewan-hewan di alam bebas sebagai strategi dalam bertahan hidup dan berkembang biak di lingkungannya.

12.3.1 Produksi dan Sekresi Racun

Kelenjar racun pada reptil, khususnya ular dengan taring depan, berfungsi untuk memproduksi venom atau racun. Racun merupakan bentuk pertahanan kimia yang digunakan oleh beberapa spesies. Racun yang diproduksi dapat disuntikan atau disemprotkan ke predator untuk menghalangi mereka menyerang atau menyebabkan cedera fisik. Spesies reptil, amfibi, arakhnida, dan ikan tertentu mempunyai organ penghasil racun yang dapat digunakan untuk menyerang atau bertahan. Pada beberapa ular memiliki taring berisi racun digunakan untuk menyuntik mangsanya dengan zat yang bisa melumpuhkan (Mackessy, 2022). Racun pada invertebrate, khususnya laba-laba dan kalajengking merupakan racun modulasi saluran ion spesifik, dan racun pada reptil umumnya mengandung racun yang diarahkan oleh ligan. (Mackessy, 2022; Chow et al., 2020; Sum et al, 2021).



Gambar 12.1. Kelenjar racun pada ular
(Sumber : Mackessy, 2022)

Pada Gambar 12.1 menunjukkan (A) Pemindaian tomografi (CT) kepala *Heloderma suspekum*. Kelenjar racun submandibular *Heloderma* sp. Terletak di sisi anterolateral mandibula (panah), dengan saluran yang berhubungan dengan setiap lobulus yang mengarah ke dasar gigi anterior mandibula yang berlekuk. (B,C) Alat racun kolubrid. (D) CT scan tengkorak. (E), menunjukkan taring pendek dan kelenjar racun (F). (G,H) Alat racun ular viperid. (G) Alat racun. (H) Bagian tengah sagital dari seluruh kelenjar racun ular derik Pasifik Utara (*Crotalus oreganus oreganus*) ular.

12.3.2 Feromon

Feromon merupakan zat atau sinyal kimia yang disekresikan oleh organisme yang diterima organisme lain dari spesies yang sama. Hewan menggunakan berbagai macam mekanisme berbeda untuk melepaskan feromon ke lingkungan. Sebagian besar, pelepasan feromon memanfaatkan jalur ekskresi yang ada, seperti urin dan feses, yang sengaja ditempatkan di lingkungan untuk menandai territorial, menarik calon pasangan dan mengingatkan

hewan lain akan bahaya. Pada hewan pengerat seperti tikus diketahui urinnya mengandung berbagai feromon kecil yang mudah menguap, serta steroid dan protein sulfat yang memiliki fungsi feromon. Rute pelepasan feromon lainnya melibatkan sekres biologis. Hamster melepaskan protein penarik seksual, afrodisin, melalui cairan vaginanya. Feromon susu pada kelinci yang diproduksi oleh kelenjar disekitar putting susu.

Produksi feromon bervariasi dari satu spesies ke spesies lainnya dan dapat berkisar dari feromon sederhana yang dikeluarkan oleh kelenjar di sepanjang tubuh hingga senyawa yang lebih kompleks yang dihasilkan oleh organ khusus (Brennan, P. A., 2010). Banyak spesies sigung menghasilkan bau yang kuat dan berbahaya dari kelenjar yang terletak di dekat anus untuk mengusir predator. Selain itu, pada ngengat sutra jantan menggunakan berbagai sinyal kimia sebagai feromon untuk menarik perhatian betina dari jarak jauh (Sakurai, T et al., 2014).

12.3.3 Molting dan Ekdisis

Molting adalah proses fisiologis pembuatan kutikula yang lebih besar dan ekdisis. Hewan secara berkala akan melepaskan dan menumbuhkan kembali lapisan luar tubuhnya, seperti bulu atau kulit. Pada arthropoda, perkembangan dari larva hingga dewasa harus melepaskan kerangka luar kitin secara berkala. Pola siklus penggantian kerangka luar ini penting untuk meningkatkan ukuran tubuh serta perubahan bentuk tubuh. Pelepasan kerangka luar yang lama disebut ekdisis. Siklus ekdisis dikontrol secara hormonal dengan diawali oleh rangsangan lingkungan yang diterima oleh sistem saraf pusat (Hickman et al. 2017).



© Design Pics Inc./Alamy Stock Photo

A



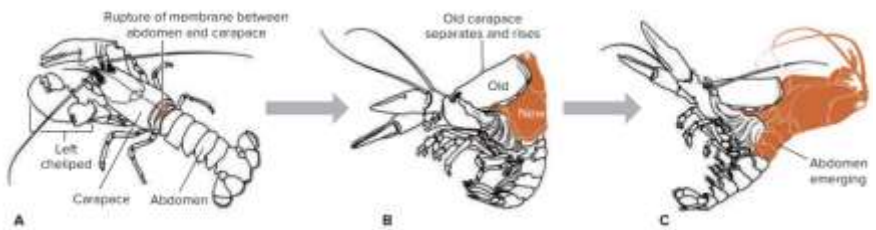
© Ingram Publishing/Fotosearch

B

Gambar 12.2. Ekdisis pada jangkrik, *Magicicada septendecim*
(Sumber : Hickman et al. 2017)

Pada Gambar 12.2 (A) Kutikula lama terbelah di sepanjang garis tengah punggung akibat peningkatan tekanan darah dan udara yang dipaksa masuk ke dada karena kontraksi otot. Serangga yang muncul berwarna pucat dengan kutikula baru yang lunak. Sayapnya akan melebar karena darah yang dipompa ke pembuluh darah, dan kemudian serangga akan membesar karena menghirup udara. (B) Dewasa (Hickman et al. 2017).

Selama proses molting dan beberapa saat sebelum ekdisis, sel-sel epidermis membesar secara signifikan. Lapisan membrane mulai terpisah, mengeluarkan epikutula baru dan mulai mensekresi eksutikula baru. Enzim-enzim dilepaskan ke area di atas epikutikula baru dan mulai melarutkan endokutikula lama kemudian menyerap dan menyimpan dalam tubuh krustasea (Hickman et al. 2017). Perubahan biokimia berperan dalam proses molting pada udang, khususnya pada konsentrasi hemosianin dan glukosa dalam hemolinf, glikogen dalam kelenjar pencernaan dengan tujuan mempertahankan homeostasis (Galindo et al, 2009).



Gambar 12.3. Molting pada lobster, *Homarus americanus*
(Sumber : Hickman et al. 2017)

Pada Gambar 12.3 merupakan urutan molting pada lobster, (A) selaput karpas dan perut pecah, dan karpas mulai terangkat secara perlahan. Langkah ini mungkin memakan waktu hingga 2 jam. (B) dan (C), kepala, dada, dan terakhir perut ditarik. Proses ini biasanya memakan waktu tidak lebih dari 15 menit. Segera setelah ecdisis, cheliped menjadi kering dan tubuhnya sangat lunak. Lobster terus menyerap air dengan cepat sehingga dalam waktu 12 jam tubuhnya bertambah panjang sekitar 20% dan beratnya 50%. Air jaringan akan digantikan oleh protein pada minggu-minggu berikutnya (Hickman et al. 2017).

12.3.4 Konsentrasi Urin

Hewan di daerah kering beradaptasi untuk menghemat air, seringkali dengan menghasilkan urin yang sangat pekat, terkadang hingga tiga kali lebih pekat dibandingkan hewan yang hidup di daerah yang tidak terlalu kering. Ini membantu mempertahankan kelembapan dan mencegah dehidrasi. Adaptasi ini juga membantu mengeluarkan produk limbah nitrogen secara efektif di lingkungan kering. Ginjal pada mamalia memiliki peran yang penting dalam menyeimbangkan konsentrasi air dan garam. Ketika perlu menjaga air dalam tubuh, medulla ginjal akan menghasilkan urin pekat. Kadal gurun mampu menghasilkan urin yang tiga kali lebih pekat dibandingkan cairan tubuhnya (Nawata et al, 2018). Pada mamalia pengaturan osmolaritas plasma darah dan konsentrasi natrium plasma darah yang hampir konstan melalui mekanisme yg secara independent mengatur ekskresi air dan natrium. Ketika asupan air cukup banyak untuk mengencerkan plasma darah, urin yang

dihasilkan lebih encer dari plasma darah, begitu sebaliknya Ketika asupan air sedikit sehingga plasma darah terkonsentrasi, urin lebih pekat dari plasma darah yang dihasilkan. Semua ginjal mamalia mempertahankan gradien osmotik yang meningkat dari batas kortiko-moduler ke ujung medulla (ujung kapiler). Unta juga memiliki kemampuan menghasilkan urin yang sangat pekat. Ginjal mereka dapat mengeluarkan produk limbah secara efisien dengan menyerap kembali air dan garam dari filtrat dan mengeluarkannya kembali ke dalam tubuh (Sands et al, 2009).

12.3.4 Lapisan Lemak

Lemak adalah lapisan lemak vaskularis subkutan tebal yang ditemukan di bawah kulit mamalia laut, seperti anjing laut dan paus. Lapisan lemak ini berfungsi sebagai insulasi dari hawa dingin dengan memerangkap udara dan menyediakan energi panas serta sebagai pengatur daya apung. Ini juga mengandung banyak lipid padat energi, yang dapat digunakan sebagai bahan bakar hewan selama periode dingin ketika sumber makanan lain mungkin tidak tersedia. Selain itu, lapisan lemak berfungsi sebagai alat bantu daya apung yang efektif dan membantu mengurangi hambatan di dalam air, sehingga hewan dapat bergerak lebih efisien. Meskipun merupakan adaptasi terhadap iklim dingin, lemak juga penting di lingkungan hangat karena membantu melindungi hewan dari cedera. Lapisan lemak tersebut berfungsi seperti bantalan, menyerap dampak benturan dengan batu atau benda lain di dalam air (Iverson, S et al., 2018).

12.3.5 Retensi Nafas

Banyak hewan yang dapat menahan napas di bawah air untuk waktu yang lama. Lumba-lumba, anjing laut, dan manate hanyalah beberapa contoh makhluk yang dapat bertahan di bawah air dalam waktu lama tanpa perlu bernapas. Hewan-hewan ini memiliki modifikasi khusus pada tubuhnya yang membantu mereka mempertahankan oksigen dalam jaringan dan organ saat mereka menahan napas. Lumba-lumba dan anjing laut memiliki paru-paru yang beradaptasi secara khusus sehingga memungkinkan mereka mengambil lebih banyak oksigen dibandingkan mamalia lain,

namun mereka masih harus muncul ke permukaan untuk bernapas, tidak seperti rekan-rekan mereka di air dan non-mamalia. Oksigen ekstra ini disimpan dalam tubuh mereka saat berada di bawah air, sehingga memberi mereka kemampuan untuk menahan napas dalam jangka waktu yang lebih lama (Fahlman, A et al., 2019).

12.3.6 Implantasi Tertunda

Implantasi yang tertunda adalah adaptasi fisiologis yang terjadi pada beberapa hewan. Hal ini memungkinkan embrio yang telah dibuahi untuk tetap tidak aktif dan kemudian ditanamkan ketika kondisi lingkungan menjadi lebih baik.

Pada banyak spesies dengan implantasi yang tertunda, sel telur tidak akan menempel pada dinding rahim sampai berminggu-minggu atau bahkan berbulan-bulan setelah pembuahan. Adaptasi ini memberikan organisme induk peluang yang lebih besar untuk bertahan hidup dalam kondisi yang keras karena ia tidak perlu mengeluarkan sumber daya untuk embrio sampai lingkungan menjadi lebih stabil. Implantasi yang tertunda juga dapat memastikan bahwa hewan baru dilahirkan dalam kondisi cuaca yang mendukung, yang mungkin menjadi perhatian di iklim yang lebih dingin. Contoh hewan yang menggunakan implantasi tertunda adalah beruang, musang, singa laut, dan anjing laut (Ptak et al, 2012).

12.3.7 Hibernasi

Hibernasi, paling sering terlihat pada mamalia, adalah adaptasi yang memungkinkan hewan bertahan hidup selama periode dingin ekstrem atau kelangkaan makanan dengan mengurangi laju metabolisme dan suhu tubuh untuk menghemat energi. Selama hibernasi, detak jantung hewan melambat, pernapasan melambat, dan bahkan dapat berhenti selama berjam-jam, dan suhu tubuhnya turun secara signifikan. Hibernasi adalah adaptasi yang berkembang seiring berjalannya waktu, memungkinkan hewan untuk bertahan hidup dalam kondisi lingkungan yang sulit. Dalam beberapa kasus, hewan dapat berhibernasi selama berbulan-bulan, sementara yang lain mungkin hanya tidur sepanjang malam musim dingin yang paling dingin.

Pada sebagian besar katak di daerah beriklim sedang berhibernasi di air kolam dan sungai yang kaya oksigen.



Gambar 12.4. Katak kayu membeku di musim dingin dan mencair di musim semi (Peterson, C. 2022)

Proses kehidupan katak berada pada titik terendahnya selama hibernasi, ditopang oleh difusi oksigen ke seluruh tubuh dan energi yang diperoleh dari glikogen dan lemak yang disimpan dalam tubuh mereka selama musim semi dan musim panas. Katak yang hidup terrestrial, seperti katak pohon berhibernasi di humus (Hill, R et al. 2012; Birnie-Gauvin, 2020).

12.3.8 Estivasi

Periode dormansi yang terkait dengan kondisi musim panas yang kering. Selama estivasi hewan mengatasi tantangan seperti terbatasnya persediaan makanan dan air. Selama estivasi, hewan secara dramatis menurunkan laju dan metabolismenya selama berbulan-bulan untuk menghemat energi, penurunan laju metabolisme dapat merupakan satu-satunya cara untuk tetap hidup. Studi pada *Cyclorana alboguttata*, kata penggali bergars hijau, cenderung berkumpul pada lubang dengan kondisi hipoksia atau dengan oksigen yang sangat rendah. Kondisi oksigen yang rendah mempengaruhi metabolisme katak. Laju metabolisme katak jauh lebih cepat dibandingkan katak yang dipelihara dalam kondisi oksigen normal. Penurunan metabolisme hamper 30% pada katak

yang sedang estivasi di rongga kecil di dalam tanah. Katak memperlambat kecepatannya dalam menggunakan sumber daya yang tersimpan, hingga mereka dapat bertahan hidup (Rossi et al, 2020).



Gambar 12.5. Ilustrasi katak pada kondisi lingkungan hipoksi oleh Erin Walsh (Birnie et al, 2020)

12.3.9 Perut Empat Kompartemen

Hewan ruminansia seperti sapi, domba, dan kambing memiliki perut 4 kompartemen yang memungkinkan terjadinya fermentasi pragastrik. Ruminansia memiliki empat bagian perut yang terdiri dari rumen, retikulum, omasum, dan abomasum. Rumen adalah ruang pertama dari empat bagian perut, dan merupakan tempat penyimpanan makanan untuk memungkinkan fermentasi mikroba. Retikulum adalah ruang kedua, dan membentuk struktur seperti jaring yang membantu menahan partikel besar makanan yang telah dicerna sebagian di tempatnya. Ruang ketiga, yang dikenal sebagai omasum, adalah tempat air dan mineral diserap dari makanan yang dicerna sebagian. Ruang

keempat dan terakhir dari empat bagian perut adalah abomasum, yang merupakan perut sebenarnya dari hewan-hewan ini. Di sini, enzim pencernaan yang kuat dikeluarkan untuk memecah protein dan lemak dalam makanan. Kemampuan mencerna tumbuhan keras memainkan peran penting dalam kelangsungan hidup banyak hewan yang memakan makanan dengan senyawa seperti selulosa di dalamnya yang tidak dapat dicerna jika bukan karena empat bagian perutnya (Swanson, 2019).

12.3.10 Penggunaan Oksigen yang Efisien

Hewan yang hidup di dataran tinggi harus beradaptasi dengan kadar oksigen yang lebih rendah. Peningkatan efisiensi penggunaan oksigen, beberapa spesies telah mengembangkan paru-paru dan jantung yang lebih besar, yang memungkinkan mereka menghirup lebih banyak udara setiap kali bernapas. Selain itu, hewan mungkin juga memiliki konsentrasi sel darah merah yang lebih tinggi dalam sistem peredaran darahnya, sehingga memungkinkan sel darah merah mengangkut lebih banyak oksigen ke seluruh tubuh. Beberapa kasus, hewan di dataran tinggi mungkin juga mengalami peningkatan kadar enzim yang membantu metabolisme oksigen dengan lebih efisien. Semua adaptasi ini memberi mereka keuntungan evolusioner di lingkungan rendah oksigen, memungkinkan mereka bertahan hidup dan berkembang di udara tipis di wilayah pegunungan (Storz, J et al., 2019; Wildlife Informer, 2023).

DAFTAR PUSTAKA

- Asres, A. and Amha, N. 2014. Physiological Adaptation of Animals to the Change of Environment: A Review, *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. Vol 4(25), pp. 146–151.
- Brennan, P. A. 2010. Pheromones and Mammalian Behavior. In A. Menini (Ed.), *The Neurobiology of Olfaction*. CRC Press/Taylor & Francis.
- Birnie-Gauvin K. Sleeping beauties-how do frogs stay alive without oxygen? *Conserv Physiol*. 2020 Apr 30;8(1):coaa042. doi: 10.1093/conphys/coaa042. PMID: 32373346; PMCID: PMC7191183.
- Chow, C.Y., Absalom, N., Biggs, K., King, G.F., Ma, L., 2020. Venom-derived modulators of epilepsy-related ion channels. *Biochemical Pharmacology* 181, 114043.
- Fahlman, A., Brodsky, M.C., Miedler, S., Dennison, S.E., Ivančić, M., Levine, G., Rocho-Levine, J., Manley, M., Rocabert, J., & Borque-Espinosa, A. 2019. Ventilation and gas exchange before and after voluntary static surface breath-holds in clinically healthy bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Journal of Experimental Biology*, 222.
- Galindo, C., Gaxiola, G., Cuzon, G., & Chiappa-Carrara, X. 2009. Physiological and Biochemical Variations during the Molt Cycle in Juvenile *Litopenaeus vannamei* under Laboratory Conditions. *Journal of Crustacean Biology*, 29(4), 544–549. <http://www.jstor.org/stable/27753966>
- Hickman, C.P., Kats, L.B., Keen, S.L., Ober, W.C., Ober, C.W. 2017. *Laboratory studies in Integrated Principles of Zoology*. McGraw-Hill Education, New York, U.S.A.
- Hill, R.W., Wyse, G.A. and Anderson, M. 2012. *Animal physiology*. Sunderland, MA, U.S.A: Sinauer Associates, Inc. Publishers.
- Inverson, S.J., Koopman, H.N., 2018. *Blubber*. Encyclopedia of Marine Mammals (Third Edition).URL <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804327-1.00069-8> (accessed 10.11.23).
- Mackessy, S.P., 2022. Venom production and secretion in reptiles. *Journal of Experimental Biology* 225.

- Moyes, C.D., and Schulte, P.M. 2014. *Principles of Animal Physiology, Second edition*. Harlow, U.S.A: Pearson Education Limited.
- Nawata, C. M., & Pannabecker, T. L. (2018). Mammalian urine concentration: a review of renal medullary architecture and membrane transporters. *Journal of comparative physiology. B, Biochemical, systemic, and environmental physiology*, 188(6), 899–918. <https://doi.org/10.1007/s00360-018-1164-3>
- Peterson, Christine. 2022. These animals can freeze solid in winter. Here's how they survive. <https://www.nationalgeographic.com/animals/article/animals-freeze-then-thaw-explained>
- Ptak GE, Tacconi E, Czernik M, Toschi P, Modlinski JA, Loi P. Embryonic diapause is conserved across mammals. *PLoS One*. 2012;7(3):e33027. doi: 10.1371/journal.pone.0033027. Epub 2012 Mar 12. PMID: 22427933; PMCID: PMC3299720.
- Rossi GS, Cramp RL, Wright PA, Franklin CE .2020. Frogs seek hypoxic microhabitats that accentuate metabolic depression during dormancy. *J Exp Biol* 223: jeb218743.
- Sakurai, T., Namiki, S., & Kanzaki, R. 2014. Molecular and neural mechanisms of sex pheromone reception and processing in the silkworm *Bombyx mori*. *Frontiers in physiology*, 5, 125. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00125>
- Sands, J. M., & Layton, H. E. 2009. The physiology of urinary concentration: an update. *Seminars in nephrology*, 29(3), 178–195. <https://doi.org/10.1016/j.semnephrol.2009.03.008>
- Storz, J.F., Scott, G.R., 2019. Life ascending: Mechanism and process in physiological adaptation to high-altitude hypoxia. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 50, 503–526.
- Sudiana, I.K. (2013). Dampak Adaptasi Lingkungan Terhadap Perubahan Fisiologis. *Seminar Nasional FMIPA UNDIKSHA III*, Available at: [Accessed: 8 October 2023].
- Sumarto, S., and Koneri, R., 2016. *Ekologi Hewan*. Bandung, Indonesia: CV. Patra Media Grafindo Bandung.
- Surm, J.M., Moran, Y., 2021. Insights into how development and life-history dynamics shape the evolution of Venom. *EvoDevo* 12.

- Swanson, K.C., 2019. Small intestinal anatomy, physiology, and digestion in ruminants. Reference Module in Food Science. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22638-3>
- Wildlife Informer, W., 2023. 11 physiological adaptations in animals [WWW Document]. Wildlife Informer. URL <https://wildlifeinformer.com/physiological-adaptations-in-animals/> (accessed 10.13.23).

BIODATA PENULIS



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

Dosen Program Studi Konservasi Sumber Daya Alam
Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung

Penulis lahir di Kota Pangkalpinang pada tanggal 6 Mei 1992, yang memiliki ayah bernama Mulkan dan ibu bernama Sumarti, serta istri bernama Dita Amelia, S.Pd.. Selain itu, penulis juga memiliki saudara kandung bernama Rian Pebriansyah, S.T. dan Rio Santri Kurniawan. Penulis memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) di Universitas Bangka Belitung (UBB) pada tahun 2013 dan Magister Sains (M.Si.) di Institut Pertanian Bogor (IPB) pada tahun 2016. Penulis memiliki fokus penelitian terkait konservasi hayati dan rehabilitasi lingkungan. Penulis juga bersertifikasi BNSP pada bidang Lingkungan Hidup (*Environment*) dengan kualifikasi sebagai *Drafting Team Member of Environmental Impact Analysis*. Penulis merupakan dosen dan menjabat sebagai Ketua Program Studi Konservasi Sumber Daya Alam Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung (Prodi KSDA Unmuh Babel) Periode 2021-2024. Penulis aktif di organisasi seperti KNPI Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, Syarikat Islam, dan NGO Lingkungan: ALOBI (Animal Lovers of Bangka Island) dan F2B (Flora Fauna Bangka).

BIODATA PENULIS



Febri Nur Ngazizah, S.Pd., M.Si

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Palangka Raya

Penulis lahir di Banjarnegara tanggal 8 Februari 1991. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi di Universitas Ahmad Dahlan dan melanjutkan S2 pada Jurusan Biologi peminatan Biomedis di Universitas Jenderal Soedirman. Pada Tahun 2017-2022 penulis menjadi dosen di program studi DIII Analis Kesehatan Stikes Borneo Cendekia Medika Pangkalan Bun. Tahun 2022-sekarang penulis menjadi dosen di Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Palangka Raya. Penulis menekuni bidang Mikrobiologi dan Parasitologi.

BIODATA PENULIS



Mirnawati Dewi, M.Si

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Palangka Raya

Penulis lahir di Tonggolobibi tanggal 29 Juni 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Palangka Raya. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Biologi dan melanjutkan S2 pada Jurusan Parasitologi dan Entomologi Kesehatan. Penulis menekuni bidang Parasitologi dan Entomologi Kesehatan.

BIODATA PENULIS



Faridah Tsuraya, M.Si.

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas MIPA Universitas Palangka Raya

Faridah Tsuraya, M.Si. adalah dosen di program studi Biologi, Universitas Palangka Raya. Faridah menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 di jurusan Biologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Selama S1, Faridah pernah melakukan penelitian PKL di Pusat Penelitian Bioteknologi, Badan Riset Inovasi Nasional dengan topik “Serangkaian Teknik Penelitian Mikroalga dan Isolasi Lipid Mikroalga Mutan”. Faridah melakukan riset tugas akhir dengan topik “Analisis Profil Protein Mikroalga *Nannochloropsis* sp dan *Botryococcus* sp. Hasil Radiasi Sinar Gamma”. Kemudian, Faridah melanjutkan S2 dalam bidang Mikrobiologi dan Bioteknologi dengan topik riset “Aplikasi Konsorsium Rhizobacteria Pada Tanaman Jagung Manis (*Zea Mays* Saccharata Sturt) dan Viabilitasnya Pada Medium Pembawa Molase, Untuk Aplikasi Biofertilizer”. Faridah juga sempat melakukan Exchange Student di Chulalongkorn University, Thailand, untuk mempelajari biologi molekuler dengan *special problem* “Genetic diversity of *Plasmodium falciparum* based on pfs25 gene”.

BIODATA PENULIS



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

Prodi Pendidikan Biologi Universitas PGRI Mahadewa Indonesia

Email: suandawayan65@gmail.com

Kelahiran tanggal 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 kemasyarakatan di luar kampus.

BIODATA PENULIS



Riko Irwanto, S.Pd., M.Sc.
Dosen Program Studi Biologi
Universitas Bangka Belitung

Penulis lahir di Bengkulu Tengah tanggal 17 Maret 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi, Universitas Bangka Belitung. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Pendidikan Biologi (Universitas Bengkulu) dan melanjutkan S2 pada Program studi Magister Biologi (Universitas Gadjah Mada). Penulis menekuni bidang Biologi (keanekaragaman hewan, Fisiologi hewan dan Biokimia/sel. Penulis merupakan dosen Profesional yang sudah tersertifikasi sejak tahun 2020 dan aktif menjalankan Tri Dharma Perguruan Tinggi. Berpengalaman sebagai tim Ahli *Biodiversity Surveillance*, penulis artikel di media massa, Artikel Jurnal, dan Buku.

BIODATA PENULIS



Wahyu Anggar Wanto, S. Si., M. Si.

Dosen Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam, Universitas Palangka Raya

Penulis lahir di Pontianak, 27 Desember 1994. Penulis tumbuh dan besar di Malang, Jawa Timur dan mengenyam pendidikan dasar hingga sekolah menengah atas di kota tersebut. Penulis mengambil S1 dan S2 di Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Brawijaya. Saat ini penulis menjadi dosen program studi biologi, FMIPA, Universitas Palangka Raya dengan konsentrasi taksonomi hewan. Penulis berharap dengan adanya buku ini, mampu menambah ilmu pengetahuan kepada tiap pembacanya. Selain itu penulis juga meminta maaf apabila ada salah kata ataupun salah informasi yang tidak disengaja oleh penulis.

BIODATA PENULIS



Fandi Tuju, S.Pd., M.Si.

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Palangka Raya

Penulis lahir di Taraitak tanggal 27 Juni 1991. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Palangka Raya. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Pendidikan Biologi FMIPA Universitas Negeri Manado dan melanjutkan S2 pada Program Studi S2 Biologi Universitas Negeri Manado. Penulis menekuni bidang Taksonomi Hewan dengan pendekatan molekuler khususnya Entomologi dan Ornitologi.

BIODATA PENULIS



Rizka Hasanah, S.Pd., M.Si.

Dosen Program Studi Biologi

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Penulis merupakan lulusan S-1 Pendidikan Biologi, FKIP Universitas Tanjungpura. Pada tahun 2017, penulis melanjutkan studi S-2 Biologi (Primatologi) di IPB. Bidang kajiannya adalah genetika molekuler, biologi konservasi dan biodiversitas. Riset S-2 nya berfokus pada karakterisasi genetik Siamang Kerdil Kepulauan Mentawai berdasarkan analisis MtDNA dan gen TSPY. Saat ini beliau bertugas sebagai dosen di prodi Biologi, FMIPA, Universitas Palangka Raya dan aktif pada organisasi Genetikawan Muda Indonesia (GEMI) dan *Indonesian Genetic and Biodiversity Community* (IGBC).

BIODATA PENULIS



Dr. Nurzaidah Putri Dalimunthe, M.Si

Dosen Program Studi Konservasi Sumber Daya Alam
Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung

Penulis lahir di Binjai tanggal 28 November 1985. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Konservasi Sumber Daya Alam, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Biologi Universitas Sumatera Utara pada tahun 2009 dan melanjutkan S2 pada Jurusan Biologi Universitas Sumatera Utara, tamat tahun 2013. Selanjutnya, penulis melanjutkan studi ke Program Doktorat Primatologi Institut Pertanian Bogor dan lulus tahun 2019. Penulis menekuni dunia pendidikan dengan mengajar mata Kuliah Biologi, Ekologi Umum, Konservasi Eksitu, Metode Penelitian, Bioindikator Lingkungan, Manajemen sumber daya alam dan Lingkungan, dan Mikrobiologi Lingkungan. Penulis juga menghasilkan banyak publikasi di Bidang Biologi dan Manajemen Konservasi.

BIODATA PENULIS



Alexander Kurniawan Sariyanto Putera, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Pendidikan Biologi
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sulawesi Barat

Penulis lahir di Surabaya tanggal 26 September 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sulawesi Barat. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Biologi di Universitas Airlangga dan melanjutkan S2 pada Jurusan Biosains Hewan di IPB University. Penulis menekuni bidang menulis karya tulis ilmiah, khususnya tentang Ekologi Hewan. Penulis berperan sebagai penulis pertama pada satu artikel jurnal ilmiah nasional terakreditasi Sinta 2 yaitu Biosaintifika terbit pada tahun 2018 dengan judul *Diversity, Composition, and Abundance Distribution of Birds in Kariangau Industrial Zone, Balikpapan City, East Borneo*. Selain itu, penulis juga berkontribusi sebagai penulis pertama pada artikel jurnal ilmiah nasional terindeks Scopus Q2 di tahun 2021 yaitu HAYATI Journal of Biosciences (saat ini, jurnal terindeks Scopus Q3 di tahun 2023) dengan judul *Waterbird Foraging Habitat Selectioin in Balikpapan Bay: Water Depth and Patch Area as Important Factors*. Penulis menjalin kolaborasi penulisan karya tulis ilmiah dengan peneliti dari luar negeri sebagai penulis pendamping (*co-authors*) pada tahun 2020 dan 2022 masing-masing di artikel jurnal ilmiah terindeks Scopus Q1 serta masing-masing berjudul *Shrimp farms, fire or palm oil? Changing causes of proboscis monkey habitat loss* dan *A decade of proboscis monkey (Nasalis larvatus)*

population monitoring in Balikpapan Bay: Confronting predictions with empirical data.

BIODATA PENULIS



Meyta Wulandari, S.Si., M. Sc

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Palangka Raya

Penulis merupakan lulusan dari S1 Program Studi Biologi Universitas Negeri Yogyakarta dan melanjutkan studi Magister Program Studi Biologi dengan bidang kajian Zoologi di Fakultas Biologi UGM. Setelah lulus Magister tahun 2017, penulis aktif sebagai dosen tetap di Program Studi Bank Darah STIKES Guna Bangsa Yogyakarta hingga 2021, dan sejak 2022 hingga saat ini bertugas di Program Studi Biologi FMIPA, Universitas Palangka Raya, Kalimantan Tengah. Buku ini merupakan karya ketiganya, setelah sebelumnya ia turut berkontribusi dalam buku ajar diantaranya adalah Biologi Sel dan Genetika yang diterbitkan oleh Penerbit NEM serta Fisiologi Hewan yang diterbitkan oleh Penerbit Get Press Indonesia. Riset yang pernah dikerjakan diantaranya adalah virologi, kultur sel hewan, parasitologi dan biologi reproduksi. Penulis dapat dihubungi melalui surel meytawulan15@gmail.com.