



EKOLOGI HEWAN: INTERAKSI, ADAPTASI, DAN DINAMIKA POPULASI

Penulis:

Tarzan Purnomo, I Wayan Suanda,
Herlina Putri Endah Sari, Ningsi Saibi
Nuraeni L. Rapi, Kartika Aprilia Putri, Nursia

EKOLOGI HEWAN: INTERAKSI, ADAPTASI, DAN DINAMIKA POPULASI

Tarzan Purnomo
I Wayan Suanda
Herlina Putri Endah Sari
Ningsi Saibi
Nuraeni L. Rapi
Kartika Aprilia Putri
Nursia



GET PRESS INDONESIA

EKOLOGI HEWAN: INTERAKSI, ADAPTASI, DAN DINAMIKA POPULASI

Penulis :

Tarzan Purnomo
I Wayan Suanda
Herlina Putri Endah Sari
Ningsi Saibi
Nuraeni L. Rapi
Kartika Aprilia Putri
Nursia

ISBN : 978-634-255-718-1

Editor : Mila Sari, M. Si.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S. Pd.

PENERBIT : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022
Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tangah Padang Sumatera Barat
website: www.getpress.co.id
email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, September 2026

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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku berjudul *Ekologi Hewan: Interaksi, Adaptasi, dan Dinamika Populasi* ini dapat diselesaikan. Isi buku ini mencakup pembahasan tentang pengantar ekologi hewan, interaksi hewan dan lingkungan, habitat dan relung ekologi, adaptasi dan respon hewan, pertumbuhan dan estimasi populasi ikan, interaksi antar populasi, dan komunitas hewan dan struktur. Akhir kata, semoga buku ini dapat menjadi referensi dan dapat memberikan manfaat serta inspirasi bagi semua pembaca.

Padang, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
BAB 1 PENGANTAR EKOLOGI HEWAN	1
1.1 Objek dan Konsep Dasar Ekologi Hewan	3
1.1.1 Objek dan Fokus Kajian Ekologi Hewan.....	7
1.1.2 Konsep Dasar Ekologi Hewan.....	13
1.1.3 Aplikasi Ekologi Hewan	17
1.1.4 Makna Ekologi Hewan dalam Ilmu dan Kehidupan.....	22
1.2 Ruang Lingkup Ekologi Hewan	25
1.3 Sejarah dan Perkembangan Ekologi Hewan	41
1.4 Komponen Lingkungan dalam Ekologi Hewan.....	45
1.5 Pendekatan dalam Studi Ekologi Hewan.....	49
1.5.1 Pendekatan Tingkat Organisasi Biologis	52
1.5.2 Pendekatan Metodologis dalam Ekologi Hewan.....	56
1.5.3 Pendekatan Teknologi dan Modern dalam Ekologi Hewan.....	63
1.5.4 Pendekatan Integratif (Interdisipliner).....	67
1.5.4 Signifikansi Pendekatan Ekologi Hewan.....	70
1.6 Peranan Ekologi Hewan dalam Kehidupan	73
1.7 Contoh Studi Kasus Ekologi Hewan di Indonesia	78
DAFTAR PUSTAKA	81
BAB 2 INTERAKSI HEWAN DAN LINGKUNGAN	85
2.1 Interaksi pada Organisme	92
2.1.1 Interaksi Intraspesies.....	93
2.1.2 Interaksi Interspesies.....	93

2.2 Simbiosis	95
2.2.1 Parasitisme	99
2.2.2 Mutualisme	102
2.2.3 Komensalisme	104
2.2.4. Simbiosis Amensalisme	104
2.2.5 Simbiosis Kompetisi.....	105
2.3 Respon dan Adaptasi Hewan Terhadap Lingkungan	106
2.3.1 Respon Hewan Terhadap Lingkungan.....	106
2.3.2 Adaptasi Hewan Terhadap Lingkungan	107
DAFTAR PUSTAKA	115
BAB 3 HABITAT DAN RELUNG EKOLOGI	119
3.1 Habitat.....	120
3.1.1 Komponen Habitat.....	120
3.1.2 Klasifikasi Habitat Berdasarkan Lingkungan Fisik.....	123
3.2.3 Makrohabitat dan Mikrohabitat	135
3.2.4 Habitat Khusus pada Hewan.....	135
3.2 Relung Ekologi (<i>Niche</i>)	138
3.2.1 Konsep Relung Ekologi	138
3.2.2 Relung Fundamental (<i>Fundamental Niche</i>) dan Relung Terealisasi (<i>Realized Niche</i>)	140
3.2.2 Spesies Spesialis dan Spesies Generalis	142
3.2.3 Evolusi Relung Ekologi.....	143
DAFTAR PUSTAKA	144
BAB 4 ADAPTASI DAN RESPON HEWAN	147
4.1 Konsep Dasar Adaptasi dan Respons Hewan	147
4.2 Jenis-jenis Adaptasi Pada Hewan	149
4.2.1 Adaptasi Fisiologi	152
4.2.2 Adaptasi Perilaku	154
4.3 Jenis-Jenis Respon Pada Hewan.....	156

4.3.1 Respons Fisiologis.....	157
4.3.2 Respons Perilaku.....	159
4.3.3 Respons Taksis (Taxis).....	160
4.3.4 Respons Kinesis.....	162
4.3.5 Respons Refleks.....	163
4.3.6 Respons Endokrin atau Hormonal.....	164
DAFTAR PUSTAKA	166
BAB 5 PERTUMBUHAN DAN ESTIMASI POPULASI IKAN	167
5.1 Konsep Pertumbuhan Ikan.....	168
5.1.1 Pertumbuhan Panjang dan Berat.....	169
5.1.2 Model Pertumbuhan Von Bertalanffy.....	170
5.2 Estimasi Populasi Ikan.....	172
5.2.1 Mortalitas Ikan.....	172
5.2.2 Metode Analisis Stok Ikan.....	174
5.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan dan Populasi Ikan.....	175
5.3.1 Faktor Biotik.....	175
5.3.2 Faktor Abiotik.....	176
5.3.3 Tekanan Penangkapan.....	177
5.4 Metode Estimasi Populasi Lanjutan.....	177
5.3.1 Metode Mark-Recapture.....	177
5.3.2 Pendekatan Bayesian.....	178
5.5 Kondisi dan Perkembangan Perikanan Indonesia.....	178
DAFTAR PUSTAKA	181
BAB 6 INTERAKSI ANTAR POPULASI	185
6.1 Klasifikasi Interaksi Antar Populasi.....	186
6.2 Kompetisi.....	187
6.2.1 Kompetisi Intraspesifik dan Interspesifik.....	187
6.2.2 Mekanisme Kompetisi.....	188

6.3 Predasi	189
6.3.1 Dinamika Predator - Mangsa	190
6.3.2 Adaptasi Mangsa Terhadap Predasi	193
6.3.3 Adaptasi Predator	195
6.4 Parasitisme.....	197
6.4.1 Klasifikasi Parasit.....	199
6.4.2 Parasitoid.....	200
DAFTAR PUSTAKA	203
BAB 7 KOMUNITAS HEWAN DAN STRUKTUR	205
7.1 Konsep Dasar Komunitas Hewan	208
7.2 Struktur Komunitas Hewan.....	210
7.2.1 Komposisi Spesies.....	211
7.2.2 Kelimpahan Spesies.....	212
7.2.3 Dominansi Spesies	213
7.2.4 Keanekaragaman Spesies.....	215
7.3 Pola Distribusi Organisme dalam Komunitas.....	216
7.3.1 Distribusi Mengelompok (<i>Clumped Distribution</i>).....	216
7.3.2 Distribusi Acak (<i>Random Distribution</i>).....	217
7.3.3 Distribusi Seragam (<i>Uniform Distribution</i>)	217
7.4 Struktur Trofik dalam Komunitas.....	218
7.4.1 Tingkat Tropik (<i>Trophic Levels</i>)	218
7.4.2 Rantai Makanan (<i>Food Chain</i>)	219
7.4.4 Jaring-Jaring Makanan (<i>Food Web</i>)	220
7.5 Stratifikasi dan Zonasi Komunitas	221
7.5.1 Zonasi Habitat.....	222
7.6 Peran Fungsional Spesies dalam Komunitas	223
7.6.1 Spesies Dominan (<i>Dominant Species</i>)	223
7.6.2 Spesies Kunci (<i>Keystone Species</i>)	224
7.6.3 Pembentuk Ekosistem (<i>Ecosystem Engineers</i>).....	225

7.7 Stabilitas Komunitas.....	225
7.8 Studi Kasus Ekologi Komunitas.....	227
7.8.1 Komunitas Mangrove.....	227
7.8.2 Komunitas Serangga pada Lahan Pertanian.....	227
7.8.3 Komunitas Terumbu Karang	228
DAFTAR PUSTAKA	230
BIODATA PENULIS	233

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Ruang Lingkup Ekologi Hewan.....	5
Gambar 1. 2 Kerangka Dasar Ekologi Hewan	6
Gambar 1. 3 Objek dan Fokus Kajian Ekologi Hewan.....	12
Gambar 1. 4 Penerapan Ekologi Hewan.....	21
Gambar 1. 5 Tingkat Organisasi Ekologi Hewan	30
Gambar 1. 6 Pendekatan Studi Ekologi Hewan.....	51
Gambar 1. 7 Pendekatan Metodologis Dalam Studi Ekologi Hewan	62
Gambar 2. 1 Rantai Makanan	88
Gambar 2. 2 Jaring-Jaring Makanan.....	89
Gambar 2. 3 Piramida.....	90
Gambar 2. 4 Lebah Perut Kuning Siaga Berjaga di Pintu Kandang Trigona sp.	102
Gambar 2. 5 Kupu-Kupu dan Lebah Trigona sp. Menghisap Nektar pada Bunga.....	103
Gambar 3. 1 Bioma Terrestrial	124
Gambar 3. 2 Formasi Vegetasi Hutan Hujan Tropis Dataran Rendah di Taman Nasional Bukit Barisan Selatan	125
Gambar 3. 3 Zona Danau	129
Gambar 3. 4 Zona Akuatik	130
Gambar 3. 5 Zona dan Kehidupan Lautan.....	131
Gambar 3. 6 Relung Ekologi Fundamental dan Relung Terealisasi	142
Gambar 4. 1 Contoh Adaptasi Morfologi.....	152
Gambar 4. 2 Contoh Adaptasi Fisiologis.....	154
Gambar 4. 3 Contoh Adaptasi Perilaku	156
Gambar 4. 4 Contoh Respon Fisiologi.....	158
Gambar 4. 5 Contoh Respon Perilaku	160
Gambar 4. 6 Contoh Respon Taksis	161
Gambar 7. 1 Studi Kasus: Penurunan Populasi Predator dan Perubahan Struktur Komunitas (<i>Trophic Cascade</i>) ...	207
Gambar 7. 2 Contoh Rantai Makanan di Ekosistem Darat.....	220

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Objek Kajian Ekologi Hewan.....	8
Tabel 1. 2 Tingkat Organisasi dalam Ekologi Hewan	15
Tabel 1. 3 Cakupan Tematik Ekologi Hewan.....	34
Tabel 1. 4 Cakupan Tematik Ekologi Hewan.....	36
Tabel 1. 5 Pendekatan Tingkat Organisasi Biologis	55
Tabel 1. 6 Integrasi Antar Tingkatan Organisasi.....	56
Tabel 1. 7 Jenis Model Ekologis	59
Tabel 1. 8 Jenis Teknologi Modern.....	60
Tabel 1. 9 Bidang Ilmu yang Terintegrasi	68
Tabel 1. 10 Contoh Studi Kasus Nyata	69
Tabel 1. 11 Relevansi Ekologi Hewan Terhadap Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs)	76
Tabel 3. 1 Klasifikasi Habitat IUCN	132
Tabel 5. 1 Parameter Pertumbuhan Von Bertalanffy Beberapa Spesies Ikan Ekonomis Penting	171
Tabel 5. 2 Parameter Mortalitas dan Laju Eksploitasi Beberapa Spesies Ikan di Indonesia	174
Tabel 6. 1 Klasifikasi Interaksi Antar Populasi	186
Tabel 6. 2 Klasifikasi Parasit.....	200
Tabel 7. 1 Karakteristik Utama Komunitas Hewan	210

BAB 1

PENGANTAR EKOLOGI HEWAN

Oleh Tarzan Purnomo

Ekologi hewan adalah cabang dari ekologi yang mempelajari hubungan antara hewan dan lingkungan tempat mereka hidup, serta interaksi antara spesies hewan dengan sesama hewan, tumbuhan, dan elemen-elemen lain dalam ekosistem. Tujuan utama dari ekologi hewan adalah untuk memahami bagaimana hewan beradaptasi dengan lingkungannya, bagaimana mereka berinteraksi dengan organisme lain, serta bagaimana mereka mempengaruhi dan dipengaruhi oleh faktor abiotik seperti cuaca, tanah, dan ketersediaan sumber daya.

Aspek-aspek utama ekologi hewan meliputi *habitat dan niche hewan, interaksi antara spesies hewan, distribusi dan kepadatan populasi, evolusi dan adaptasi, serta dinamika populasi hewan*. Habitat mempelajari tempat di mana suatu spesies hewan tinggal. Ini bisa berupa hutan, padang rumput, laut, atau bahkan lingkungan perkotaan. Sedangkan *niche* merujuk pada peran spesifik yang dimainkan oleh suatu spesies dalam ekosistemnya, mencakup apa yang dimakan, bagaimana cara memperoleh makanan, dan bagaimana hewan tersebut berinteraksi dengan spesies lain serta lingkungannya.

Interaksi antarspesies meliputi 1. Kompetisi ketika dua atau lebih spesies atau individu dalam spesies yang sama bersaing untuk mendapatkan sumber daya yang terbatas

(seperti makanan atau tempat tinggal). 2. **Predasi** jika satu spesies (pemangsa) memangsa spesies lain (mangsa). 3. **Simbiosis** hubungan antara dua spesies yang berbeda yang hidup bersama, bisa berupa 4. **Mutualisme** kedua spesies mendapatkan keuntungan (misalnya, bunga dan lebah). 5. **Kominalisme** salah satu spesies mendapatkan keuntungan, sementara spesies lain tidak terpengaruh secara signifikan (misalnya, burung pemakan kutu pada hewan besar), serta 6. **Parasitisme** salah satu spesies mendapatkan keuntungan sementara yang lain dirugikan (misalnya, kutu pada hewan).

Ekologi hewan juga mempelajari bagaimana hewan tersebar di berbagai habitat dan faktor-faktor yang mempengaruhi distribusinya, seperti ketersediaan makanan, suhu, dan tempat berlindung dalam *Distribusi dan Kepadatan Populasi*. Kepadatan populasi menggambarkan jumlah individu per unit area atau volume. Dalam ekologi hewan, pemahaman tentang adaptasi hewan terhadap lingkungan sangat penting dikaji dalam *Evolusi dan Adaptasi*. Misalnya, hewan yang tinggal di iklim dingin mungkin memiliki lapisan lemak tebal atau bulu untuk menjaga suhu tubuhnya. Ekologi hewan juga berkaitan dengan perubahan jumlah individu dalam suatu populasi dari waktu ke waktu, serta faktor-faktor yang mempengaruhi kelahiran, kematian, emigrasi, dan imigrasi (*Dinamika Populasi*).

Studi ekologi hewan memberikan wawasan yang sangat penting dalam konservasi, manajemen spesies, dan pemahaman tentang dampak aktivitas manusia terhadap alam. Dengan memahami interaksi dalam ekosistem dan bagaimana hewan berperan dalam menjaga keseimbangan alam, kita dapat lebih baik dalam melestarikan spesies yang terancam punah dan mengelola sumber daya alam dengan bijak. Contoh aplikasi Ekologi Hewan a. *Konservasi spesies terancam punah*; ekologi hewan digunakan untuk memahami faktor-faktor yang menyebabkan penurunan populasi spesies tertentu, seperti harimau atau panda, dan merancang strategi

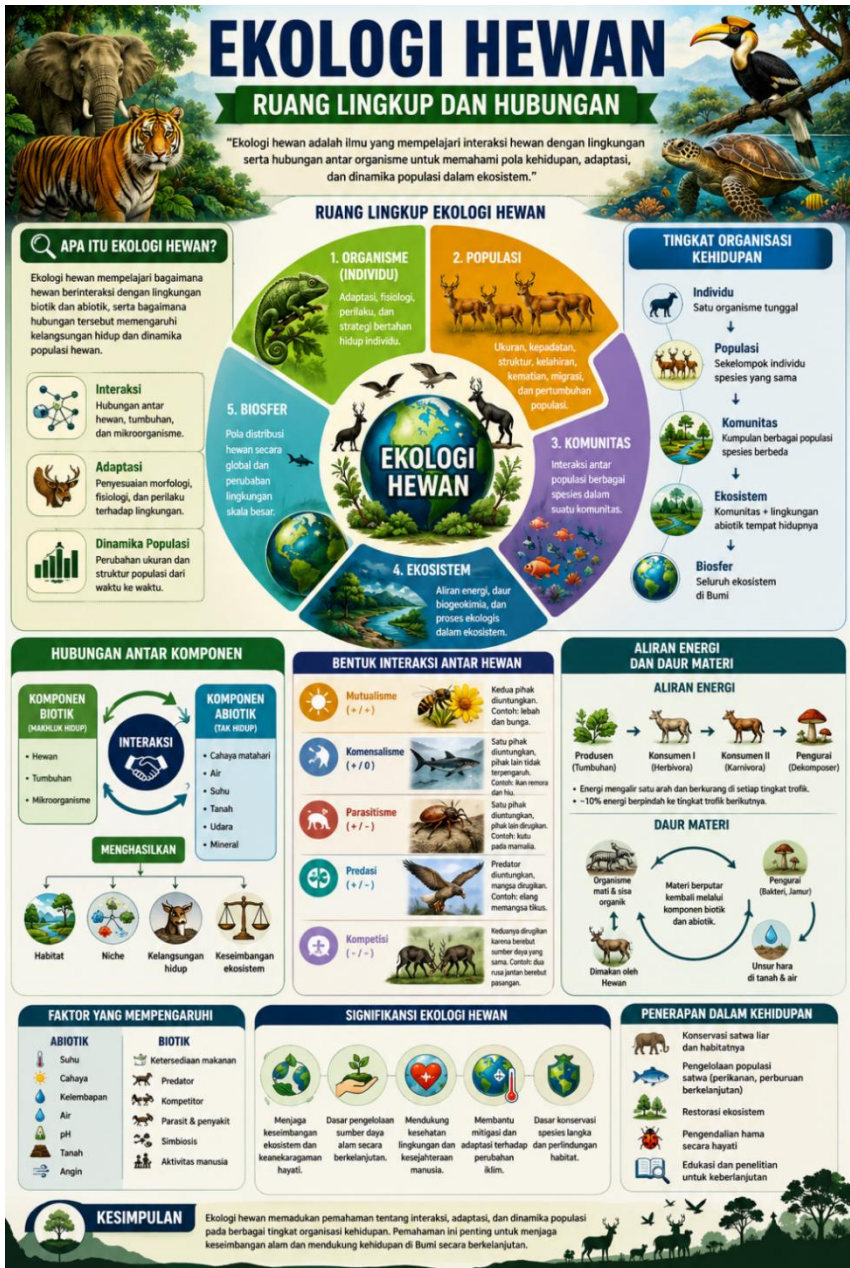
konservasi yang efektif. b. *Pengelolaan ekosistem laut*; studi tentang predasi dan kompetisi antarspesies di ekosistem laut sangat penting dalam pengelolaan perikanan dan perlindungan terumbu karang. Dengan melihat ekologi hewan sebagai bagian integral dari ekosistem, kita dapat lebih menghargai keragaman hayati dan pentingnya keseimbangan alam dalam mempertahankan kehidupan di planet ini.

Dalam mempelajari ekologi hewan, akan kita peroleh berbagai manfaat terapannya, yaitu dibidang pertanian, perikanan, dan peternakan. Hal ini sangat penting mengingat dengan semakin bertambahnya populasi manusia, maka kebutuhan pemenuhan akan bahan makanan, sandang dan perumahan semakin meningkat. Namun, disisi lain terjadinya fenomena pemanasan global yang memicu terjadinya perubahan iklim, telah berakibat negatif terhadap kelangsungan hidup hewan, sehingga berdampak terhadap penyediaan pangan dan mengancam krisis pangan.

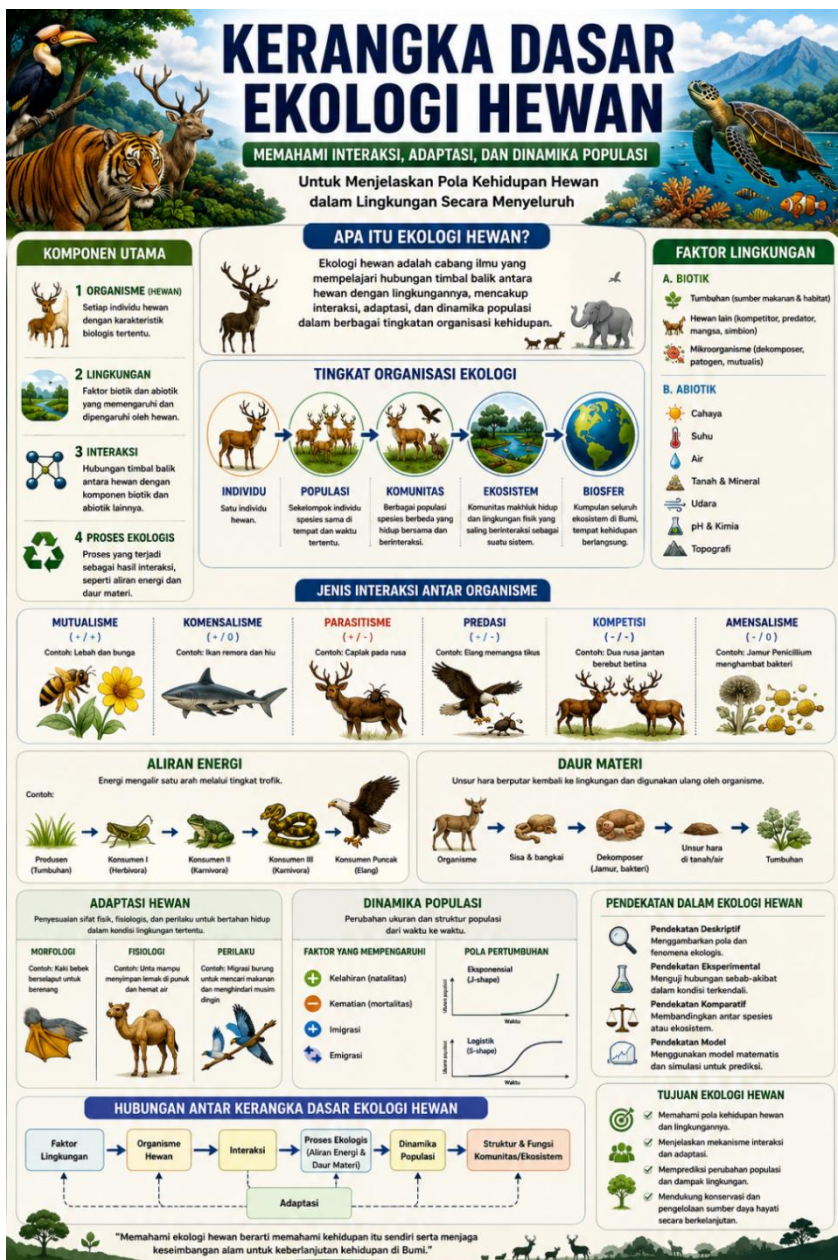
1.1 Objek dan Konsep Dasar Ekologi Hewan

Ekologi hewan merupakan cabang dari ilmu ekologi yang mempelajari *hubungan timbal balik antara hewan dan lingkungannya*, baik yang bersifat abiotik (fisik-kimia) maupun *biotik (makhluk hidup lain)*. Fokus utama ekologi hewan adalah memahami ***bagaimana faktor lingkungan memengaruhi perilaku, distribusi, adaptasi, dan dinamika populasi hewan*** (Odum, 1971; Begon, *et al.*, 2021). Secara etimologis, istilah *ekologi* berasal dari bahasa Yunani, yaitu *oikos* (rumah/tempat hidup) dan *logos* (ilmu atau kajian), sehingga secara harfiah berarti “*ilmu tentang rumah tangga makhluk hidup.*” Dalam konteks hewan, ekologi menelaah “*bagaimana hewan mengatur dan menyesuaikan kehidupannya dalam rumah tangga ekologisnya.*” Definisi klasik menurut Odum (1971) “*Ekologi adalah studi tentang*

struktur dan fungsi alam, yang mempelajari hubungan timbal balik antara organisme dan lingkungannya.” Definisi spesifik menurut Krebs (2016) “Ekologi hewan adalah studi ilmiah mengenai bagaimana hewan berinteraksi dengan faktor lingkungan yang menentukan distribusi dan kelimpahannya.”



Gambar 1. 1 Ruang Lingkup Ekologi Hewan



Gambar 1. 2 Kerangka Dasar Ekologi Hewan

1.1.1 Objek dan Fokus Kajian Ekologi Hewan

Ekologi hewan mempelajari *hubungan antara hewan dan lingkungan*, dengan penekanan pada *bagaimana hewan beradaptasi, berinteraksi, dan mempertahankan keberlangsungan hidupnya* dalam ekosistem tertentu (Odum, 1971; Krebs, 2016). Objek utama kajian ini adalah *hewan (animalia)* sebagai komponen biotik, sedangkan fokusnya mencakup ***interaksi ekologis, adaptasi, serta dinamika populasi*** yang memengaruhi struktur dan fungsi ekosistem. Secara umum, *objek ekologi hewan* terdiri atas 1. Hewan sebagai individu, populasi, atau bagian dari komunitas, 2. Lingkungan biotik dan abiotik yang memengaruhi kehidupan hewan, dan 3. Proses ekologis yang mengatur hubungan antara keduanya.

a. Objek Kajian Ekologi Hewan

Ekologi hewan mengkaji berbagai aspek kehidupan hewan, meliputi:

1. *Distribusi Geografis Hewan*; mengapa spesies tertentu hanya ditemukan di wilayah tertentu? *Contoh* Komodo (*Varanus komodoensis*) hanya hidup di Kepulauan Nusa Tenggara Timur karena kondisi iklim kering dan ekosistem savana yang sesuai dengan fisiologinya.
2. *Adaptasi terhadap Lingkungan*; bagaimana hewan menyesuaikan diri terhadap perubahan suhu, ketersediaan makanan, atau tekanan predator? *Contoh* Burung cenderawasih jantan memiliki warna cerah dan tarian unik untuk menarik pasangan di hutan Papua.
3. *Interaksi Ekologis*; bagaimana hubungan antarhewan dan organisme lain memengaruhi kelangsungan hidupnya? *Contoh* Ikan badut

(*Amphiprion ocellaris*) hidup bersimbiosis mutualistik dengan anemon laut.

4. *Dinamika Populasi dan Komunitas*; bagaimana jumlah dan komposisi spesies berubah dari waktu ke waktu? *Contoh* Populasi monyet ekor panjang di Pulau Bali meningkat di area wisata karena ketersediaan pakan dari manusia.

Objek kajian ekologi hewan dibedakan menjadi *tiga tingkat organisasi utama*, yaitu individu, populasi, dan komunitas (Tabel 1.1).

Tabel 1. 1 Objek Kajian Ekologi Hewan

Tingkat Kajian	Objek yang Dikaji	Contoh Studi di Indonesia
Individu	Adaptasi morfologi, fisiologi, dan perilaku terhadap lingkungan	Adaptasi penyu hijau terhadap suhu pasir untuk penetasan telur di Pantai Sukamade (Banyuwangi)
Populasi	Pertumbuhan, kepadatan, struktur umur, dan migrasi suatu spesies	Dinamika populasi monyet ekor panjang di kawasan wisata Uluwatu
Komunitas	Interaksi antarspesies (predasi, kompetisi, simbiosis)	Hubungan mutualisme antara ikan badut (<i>Amphiprion ocellaris</i>) dan anemon laut di Karimunjawa
Ekosistem	Hubungan antara komunitas hewan dan lingkungan fisik	Ekosistem mangrove di Segara Anakan,

	(aliran energi dan materi)	Cilacap, sebagai habitat kepiting bakau
Lanskap & Biosfer	Distribusi geografis dan relung ekologis hewan dalam skala besar	Migrasi burung pantai Asia–Australasia melalui pesisir utara Jawa

b. Fokus Kajian Utama Ekologi Hewan

Fokus kajian ekologi hewan mencakup *empat aspek fundamental* yang saling berkaitan, yaitu:

1. *Adaptasi terhadap Lingkungan*

Hewan beradaptasi untuk bertahan hidup dalam kondisi lingkungan yang berubah-ubah, baik melalui adaptasi morfologi, fisiologi, maupun perilaku. Meliputi 1. *Adaptasi morfologi*; bentuk paruh burung disesuaikan dengan jenis makanannya, 2. *Adaptasi fisiologi*; unta mampu menyimpan air dan menahan panas. 3. *Adaptasi perilaku*; burung walet bermigrasi untuk mengikuti ketersediaan pakan serangga. Contoh Katak pohon (*Polypedates leucomystax*) di Jawa memiliki kulit lembab dan perilaku aktif malam hari untuk menghindari penguapan berlebih.

2. *Interaksi Antarorganisme*

Ekologi hewan menelaah berbagai hubungan antarspesies di alam, seperti 1. *Predasi*; Harimau Sumatra memangsa rusa sebagai sumber energi. 2. *Kompetisi*; Dua spesies burung bersaing untuk lokasi sarang. 3. *Simbiosis*; Ikan remora menempel pada hiu untuk mendapatkan sisa makanan. 4.

Parasitisme; Lintah dan kutu mengambil nutrisi dari inangnya. Interaksi ini membentuk struktur komunitas dan memengaruhi kestabilan ekosistem (Begon *et al.*, 2021).

3. *Dinamika Populasi dan Komunitas*

Populasi hewan selalu berubah jumlahnya dari waktu ke waktu karena kelahiran, kematian, migrasi, atau ketersediaan sumber daya (Krebs, 2016). Analisis dinamika populasi membantu memahami pola pertumbuhan dan daya dukung lingkungan (*carrying capacity*). *Contoh* populasi rusa di Taman Nasional Baluran meningkat pada musim hujan karena pakan melimpah, namun menurun pada musim kemarau akibat kekurangan air.

4. *Peran Hewan dalam Ekosistem*

Setiap spesies hewan memiliki *fungsi ekologis* tertentu yang berkontribusi pada keseimbangan ekosistem, yaitu sebagai 1. *Herbivora*; mengontrol populasi tumbuhan (contoh gajah Sumatra). 2. *Karnivora*; menjaga keseimbangan populasi mangsa (contoh harimau). 3. *Detritivor dan pengurai*; membantu daur ulang materi organik (contoh rayap, cacing tanah). *Contoh* di ekosistem terumbu karang, ikan karang menjaga keseimbangan alga agar tidak menutupi karang hidup.

c. Ruang Lingkup Penelitian Ekologi Hewan

Ruang lingkup penelitian ekologi hewan mencakup berbagai pendekatan, yaitu 1. *Ekologi lapangan*; pengamatan langsung di habitat alami (misalnya studi perilaku burung maleo di Sulawesi). 2. *Eksperimen laboratorium*; pengujian faktor lingkungan tertentu (misalnya pengaruh suhu terhadap metabolisme ikan). 3. *Model matematis dan simulasi*; analisis dinamika populasi (model Lotka–Volterra). 4. *Pendekatan molekuler dan genetika*; studi variasi genetik untuk memahami adaptasi dan evolusi. Pendekatan ini memungkinkan pemahaman yang komprehensif tentang bagaimana hewan mempertahankan eksistensinya dalam sistem ekologis.



Gambar 1. 3 Objek dan Fokus Kajian Ekologi Hewan

1.1.2 Konsep Dasar Ekologi Hewan

Ekologi hewan berlandaskan pada pemahaman bahwa *setiap hewan adalah bagian dari sistem ekologis yang kompleks dan dinamis*. Hewan tidak hidup terpisah, melainkan selalu berinteraksi dengan lingkungan fisik (abiotik) dan makhluk hidup lain (biotik). Hubungan ini membentuk pola ***adaptasi, distribusi, interaksi, dan evolusi ekologis*** yang menjaga keseimbangan alam (Odum, 1971; Begon *et al.*, 2021). Dengan demikian, konsep dasar ekologi hewan tidak hanya menekankan pada deskripsi spesies, tetapi juga pada *fungsi ekologis* hewan di dalam jaringan kehidupan.

a. Konsep Dasar Ekologi Hewan

Ekologi hewan tidak hanya mempelajari makhluk hidup secara individu, tetapi juga keterkaitannya dalam sistem ekologis yang lebih luas. Secara hierarkis, studi ini mencakup lima tingkatan utama (Begon *et al.*, 2021) meliputi 1. *Individu*; adaptasi morfologi, fisiologi, dan perilaku terhadap lingkungan. 2. *Populasi*; kelompok individu sejenis di suatu area dan dinamika pertumbuhannya. 3. *Komunitas*; interaksi antarspesies yang hidup bersama di habitat yang sama. 4. *Ekosistem*; hubungan antara komunitas makhluk hidup dan faktor abiotik. 5. *Biosfer*; keseluruhan sistem kehidupan di planet bumi.

b. Prinsip-Prinsip Dasar Ekologi Hewan

1. *Organisme dan Lingkungan*

Hewan selalu berinteraksi dengan faktor lingkungan yang memengaruhi kelangsungan hidupnya. *Faktor abiotik* (suhu, cahaya, kelembaban, salinitas, dan pH). *Faktor biotik* (predator, mangsa, kompetitor, dan simbiosis).

Contoh Kadal pasir (*Eutropis multifasciata*) menyesuaikan waktu berjemurnya untuk mempertahankan suhu tubuh optimal.

2. Adaptasi

Adaptasi merupakan penyesuaian morfologi, fisiologi, atau perilaku hewan terhadap kondisi lingkungan. Terdiri dari adaptasi 1. *Morfologi*; bentuk tubuh penguin *streamline* memudahkan berenang. 2. *Fisiologi*; unta menyimpan air dan memiliki ginjal efisien untuk bertahan di gurun. 3. *Perilaku*; burung walet bermigrasi mengikuti ketersediaan serangga. *Contoh* Katak pohon (*Polypedates leucomystax*) beradaptasi pada musim kering dengan mengurangi aktivitas dan berlindung di tempat lembab.

3. Interaksi Antarorganisme

Hewan berinteraksi satu sama lain dan dengan organisme lain dalam berbagai bentuk 1. *Predasi*; Harimau memangsa rusa. 2. *Kompetisi*; Dua spesies burung bersaing untuk sarang. 3. *Simbiosis*; Ikan remora menempel pada hiu untuk mendapatkan sisa makanan. 4. *Parasitisme*; Kutu menempel pada mamalia untuk menghisap darah.

4. Dinamika Populasi

Populasi hewan berubah jumlahnya seiring waktu akibat kelahiran, kematian, migrasi, atau tekanan lingkungan (Krebs, 2016). *Contoh* populasi rusa di Taman Nasional Baluran meningkat pada musim penghujan karena melimpahnya vegetasi.

5. *Aliran Energi dan Siklus Materi*

Hewan memperoleh energi melalui rantai makanan, dimulai dari produsen (tumbuhan), konsumen (herbivora–karnivora), hingga pengurai. *Contoh rantai makanan laut* Fitoplankton → Ikan kecil → Ikan tuna → Hiu → Pengurai.

6. *Homeostasis Ekologis*

Ekosistem cenderung menjaga keseimbangan melalui mekanisme umpan balik alami (*feedback*). Bila satu komponen terganggu, komponen lain menyesuaikan diri untuk mencapai keseimbangan baru. *Contoh* penurunan populasi kucing liar di kota dapat menyebabkan peningkatan populasi tikus secara cepat.

c. **Tingkatan Organisasi dalam Ekologi Hewan**

Ekologi hewan menganalisis kehidupan dari skala mikro hingga makro. *Lima tingkatan organisasi utama* dijelaskan sebagai berikut (Begon *et al.*, 2021):

Tabel 1. 2 Tingkat Organisasi dalam Ekologi Hewan

Tingkat Organisasi	Fokus Kajian	Contoh Kasus Ekologi Hewan di Indonesia
Individu	Adaptasi terhadap lingkungan	Katak sawah menyesuaikan suhu tubuh dengan lingkungan air

Populasi	Pertumbuhan, kepadatan, dan struktur populasi	Populasi rusa di Baluran berfluktuasi karena ketersediaan pakan
Komunitas	Interaksi antarspesies	Simbiosis ikan badut dan anemon laut di perairan Karimunjawa
Ekosistem	Hubungan biotik-abiotik dan aliran energi	Ekosistem mangrove sebagai habitat kepiting dan burung air
Biosfer	Pola global dan bioma bumi	Migrasi burung dari Siberia ke pantai utara Jawa setiap tahun

d. Konsep “Niche Ekologis” (Relung Ekologi)

Salah satu konsep kunci dalam ekologi hewan adalah *niche*, yaitu “*peran dan posisi*” suatu spesies dalam ekosistemnya (Elton, 1927). Niche mencakup a. *Habitat*; tempat hewan hidup, b. *Fungsi ekologis*; peran dalam rantai makanan, dan c. *Strategi bertahan hidup*; cara memperoleh makanan, reproduksi, dan menghindari predator. Contoh burung raja udang (*Kingfisher*) memiliki *niche* sebagai predator serangga dan ikan kecil di tepi sungai, sedangkan bangau memiliki *niche* berbeda sebagai pemangsa ikan di perairan dangkal.

Hubungan antar komponen ekologi hewan dapat digambarkan sebagai siklus berikut: *Lingkungan fisik* → *Adaptasi hewan* → *Interaksi*

antarspesies → *Dinamika populasi* → *Stabilitas ekosistem*. Gangguan pada salah satu tahap (misalnya pencemaran atau deforestasi) akan berdampak pada keseluruhan sistem ekologi hewan.

1.1.3 Aplikasi Ekologi Hewan

Ekologi hewan tidak hanya bersifat teoretis, tetapi juga *memiliki penerapan nyata* dalam berbagai bidang kehidupan manusia. Pengetahuan tentang hubungan antara hewan dan lingkungannya digunakan untuk *konservasi keanekaragaman hayati, pengelolaan sumber daya alam, pengendalian hama, pengelolaan perikanan, serta mitigasi perubahan iklim* (Begon, *et al.*, 2021; Krebs, 2016). Dengan memahami prinsip ekologi hewan, para ilmuwan dan pengelola lingkungan dapat merancang kebijakan yang *mendukung keseimbangan ekosistem dan keberlanjutan sumber daya*.

a. Penerapan Ekologi Hewan dalam Kehidupan dan Penelitian

1. Konservasi dan Pengelolaan Satwa Liar

Ekologi hewan menjadi dasar dalam perencanaan *konservasi spesies terancam punah* dengan mempertimbangkan aspek habitat, perilaku, dan dinamika populasi. *Contoh 1. Konservasi Orangutan Kalimantan.* Studi ekologi perilaku menunjukkan bahwa orangutan (*Pongo pygmaeus*) memerlukan area jelajah luas (± 250 ha per individu). Informasi ini digunakan untuk menentukan ukuran minimum kawasan konservasi di Taman Nasional Tanjung Puting (WWF Indonesia, 2023). *Contoh 2 Perlindungan Penyu Laut di Pantai Sukamade, Banyuwangi.* Penelitian

pengaruh suhu pasir terhadap rasio jenis kelamin tukik membantu menentukan *waktu ideal penetasan alami* untuk menjaga keseimbangan populasi jantan–betina. Menentukan pola migrasi penyu laut untuk melindungi area peneluran (WWF Indonesia, 2023).

2. Pengelolaan Perikanan dan Sumber Daya Pesisir

Prinsip ekologi hewan diterapkan dalam *ekologi perikanan* untuk menjaga populasi ikan agar tidak mengalami eksploitasi berlebih. *Contoh* Model populasi ikan pelagis kecil di Laut Jawa menggunakan konsep *maximum sustainable yield* (MSY) untuk menetapkan batas tangkapan yang berkelanjutan. Kajian ekologi perilaku juga membantu memahami *pola migrasi ikan tuna* berdasarkan suhu dan arus laut (FAO, 2022).

3. Pengendalian Hama Secara Biologis

Ekologi hewan juga diterapkan dalam bidang *pertanian dan kehutanan*, terutama melalui pendekatan *pengendalian hama terpadu* (PHT) yang memanfaatkan interaksi predator–mangsa alami. *Contoh* a). Laba-laba dan capung digunakan sebagai predator alami serangga hama padi. b). Burung sriti berperan sebagai pengendali nyamuk di lingkungan perkotaan. c). Ikan *Poecilia reticulata* (ikan gupi) digunakan untuk memakan jentik nyamuk di kolam dan sawah. d). Mengelola populasi serangga penyerbuk dan pengendali hama alami. Pendekatan ini mengurangi penggunaan pestisida kimia dan menjaga stabilitas ekosistem agro.

4. *Studi Perubahan Iklim dan Migrasi Hewan*

Ekologi hewan juga digunakan untuk memantau *dampak perubahan iklim terhadap perilaku dan distribusi satwa liar*. Contoh 1. *Migrasi burung pantai di Pantai Utara Jawa*; perubahan suhu global menggeser waktu dan rute migrasi burung dari Siberia menuju Australia. Studi ekologi hewan membantu menentukan *zona penting burung (Important Bird Areas)* di sepanjang pesisir utara Jawa (BirdLife International, 2022). 2. *Penyu hijau di Nusa Tenggara Timur*; perubahan suhu laut memengaruhi lokasi dan keberhasilan peneluran.

5. *Ekowisata Berbasis Ekologi Hewan*

Pemahaman ekologi hewan digunakan untuk mengembangkan *ekowisata berkelanjutan* yang tidak mengganggu habitat satwa. Contoh di *Taman Nasional Baluran*, wisatawan dapat mengamati perilaku rusa dan banteng liar dengan tetap menjaga jarak aman. Di *Raja Ampat*, konsep “*no-take zone*” diterapkan untuk menjaga populasi ikan karang dan biota laut lainnya berdasarkan studi ekologi terumbu karang. Ekowisata berbasis ekologi tidak hanya memberikan manfaat ekonomi, tetapi juga meningkatkan kesadaran konservasi masyarakat lokal.

6. *Studi Kesehatan Satwa dan Penyakit Zoonosis*

Ekologi hewan berperan penting dalam *studi ekologi penyakit* yang melibatkan hubungan antara hewan, patogen, dan

lingkungan (Ostfeld *et al.*, 2019). *Contoh* Penelitian mengenai *pola pergerakan kelelawar buah* di Kalimantan membantu memahami potensi penularan virus zoonosis seperti Nipah. Kajian ini digunakan untuk merancang strategi pengawasan (*surveilans*) penyakit berbasis ekosistem.

b. Integrasi Ekologi Hewan dengan Teknologi Modern

Perkembangan teknologi memungkinkan penerapan ekologi hewan secara lebih presisi. 1. *Remote Sensing & GIS*; untuk memetakan habitat dan pergerakan satwa liar. 2. *Telemetry & GPS Tracking*; untuk melacak migrasi burung, paus, dan gajah. 3. *Model Komputer*; untuk memprediksi dampak perubahan lingkungan terhadap populasi. 4. *Analisis DNA Lingkungan (eDNA)*; untuk mendeteksi keberadaan spesies langka tanpa menangkapnya. *Contoh* penggunaan GPS collar pada gajah Sumatra oleh Balai Konservasi Sumber Daya Alam (BKSDA) membantu mengidentifikasi ***koridor migrasi alami*** dan area konflik dengan manusia.



Gambar 1. 4 Penerapan Ekologi Hewan

1.1.4 Makna Ekologi Hewan dalam Ilmu dan Kehidupan

Ekologi hewan merupakan cabang biologi yang *mengintegrasikan ilmu dasar dan terapan* untuk memahami bagaimana hewan berinteraksi dengan lingkungannya. Lebih dari sekadar mempelajari keberadaan spesies, ekologi hewan menelaah ***keterkaitan antara perilaku, fisiologi, populasi, komunitas, dan ekosistem*** secara menyeluruh (Krebs, 2016). Makna ekologi hewan menjadi sangat penting dalam konteks *perubahan lingkungan global*, karena ilmu ini menyediakan *kerangka konseptual untuk menjaga keseimbangan antara kehidupan manusia dan kelestarian alam*. Dengan demikian, ekologi hewan bukan hanya ilmu deskriptif, melainkan juga aplikatif — membantu manusia memahami perannya sebagai bagian dari ekosistem yang lebih luas.

a. Makna Ekologi Hewan dalam Pengembangan Ilmu Pengetahuan

1. Landasan untuk Ilmu Biologi Modern

Ekologi hewan berperan sebagai dasar bagi banyak bidang biologi lain seperti zoologi, etologi (ilmu perilaku hewan), fisiologi lingkungan, biogeografi, hingga genetika populasi (Begon *et al.*, 2021). Contohnya, studi tentang *strategi reproduksi dan seleksi alam* pada burung atau mamalia digunakan untuk menjelaskan mekanisme evolusi dan adaptasi ekologis.

2. Mendukung Integrasi Ilmu Multidisiplin

Ekologi hewan beririsan dengan *geografi, klimatologi, dan ilmu lingkungan*, serta semakin berkembang melalui integrasi dengan teknologi seperti *remote sensing, ecological*

modeling, dan *bioinformatics* (Odum & Barrett, 2020). Pendekatan lintas disiplin ini memungkinkan peneliti memahami dinamika kehidupan hewan dari skala molekul hingga biosfer.

3. Pendorong Inovasi Penelitian dan Konservasi

Pemahaman ekologi hewan mendorong inovasi dalam metode penelitian seperti *penandaan satwa (tagging)*, *telemetry*, hingga *penggunaan DNA lingkungan (eDNA)* untuk mendeteksi keberadaan spesies tanpa harus menangkapnya (Allan *et al.*, 2022).

b. Makna Ekologi Hewan dalam Kehidupan dan Keberlanjutan

1. Menjaga Keseimbangan Ekosistem

Setiap hewan memiliki *peran ekologis (niche)* yang menentukan keseimbangan dalam rantai makanan dan aliran energi. Contohnya a. Predator menjaga populasi herbivora agar tidak berlebihan. b. Penyerbuk seperti lebah dan kelelawar memastikan keberlangsungan tanaman berbunga. c. Pengurai seperti serangga tanah mempercepat daur ulang bahan organik. Tanpa keseimbangan ini, sistem ekologi akan kehilangan stabilitas, berdampak pada produksi pangan dan kesehatan lingkungan (Odum, 1971).

2. Dasar Pengelolaan Sumber Daya Alam Berkelanjutan

Ekologi hewan menjadi landasan dalam *manajemen perikanan, kehutanan, pertanian, dan pariwisata berbasis alam*. Pemahaman

terhadap kapasitas dukung habitat (carrying capacity) dan dampak interaksi manusia-hewan penting untuk menghindari eksploitasi berlebih. Contoh Studi ekologi populasi ikan di perairan Indonesia digunakan untuk menetapkan Total Allowable Catch (TAC) dan mencegah penurunan stok ikan pelagis.

3. *Panduan Etika Lingkungan dan Kesadaran Ekologis*

Ekologi hewan mengajarkan bahwa manusia adalah bagian dari jaringan kehidupan yang saling bergantung. Dengan demikian, ilmu ini menumbuhkan ***etika ekologis***, rasa hormat terhadap semua makhluk hidup dan tanggung jawab moral dalam mengelola bumi (Capra, 1996). Pemahaman ini penting untuk membangun *kesadaran konservasi* di masyarakat dan membentuk gaya hidup ramah lingkungan (*eco-lifestyle*).

4. *Pemantauan Dampak Perubahan Iklim*

Ekologi hewan membantu mengungkap bagaimana perubahan iklim memengaruhi perilaku, migrasi, dan distribusi spesies. Misalnya burung migran mengubah waktu migrasi akibat pergeseran musim. Terumbu karang kehilangan ikan simbiotik akibat peningkatan suhu laut. Melalui studi semacam ini, manusia dapat memprediksi risiko ekologis dan merancang langkah adaptasi berbasis sains.

c. Dimensi Filosofis: Hubungan Manusia dan Hewan dalam Sistem Kehidupan

Makna terdalam dari ekologi hewan adalah pengakuan bahwa ***manusia dan hewan hidup dalam jaringan ekologis yang sama.*** Konsep ini menolak pandangan antroposentris (manusia sebagai pusat) dan menggantinya dengan *eko-sentrisme*, yaitu pandangan bahwa seluruh kehidupan memiliki nilai intrinsik (Naess, 1989). Dalam konteks ini, ekologi hewan menjadi sarana reflektif untuk 1. Menumbuhkan rasa empati terhadap makhluk lain, 2. Mendorong kebijakan yang menghargai keanekaragaman hayati, dan 3. Mengembangkan ilmu yang berpihak pada keberlanjutan kehidupan di bumi.

1.2 Ruang Lingkup Ekologi Hewan

Ruang lingkup ekologi hewan sangat luas, mencakup *interaksi antara hewan dengan lingkungan abiotik (fisik-kimia) dan biotik (makhluk hidup lain)* dalam berbagai tingkat organisasi kehidupan. Kajian ini tidak hanya menyoroti *hubungan langsung antarhewan*, tetapi juga *mekanisme adaptasi, perilaku, distribusi, serta dinamika populasi dan komunitas* (Krebs, 2016; Begon *et al.*, 2021). Dengan memahami ruang lingkup ini, mahasiswa biologi dapat melihat bagaimana *proses-proses ekologis mikro dan makro* bekerja secara terintegrasi dalam menjaga keseimbangan kehidupan di bumi. Pendekatan integratif ini memperkuat relevansi ekologi hewan dalam pembangunan berkelanjutan (Capra, 1996).

a. Tingkat Organisasi dalam Ekologi Hewan

Dalam ekologi hewan, kehidupan tidak dipelajari secara terpisah, melainkan *berdasarkan tingkatan organisasi biologis* yang saling terhubung. Mulai dari *individu* yang beradaptasi terhadap lingkungan, hingga *biosfer* sebagai keseluruhan sistem kehidupan di bumi (Odum, 1971). Pendekatan bertingkat ini membantu ilmuwan memahami bagaimana *proses mikroekologis (adaptasi individu)* dan *makroekologis (pola global biodiversitas)* bekerja secara terintegrasi menjaga keseimbangan ekosistem (Begon, *et al.*, 2021). Ruang lingkup ekologi hewan biasanya dikaji melalui *lima tingkat organisasi utama*, dari individu hingga biosfer.

1. Tingkat Individu (Organisme)

Tingkat ini merupakan unit dasar dalam ekologi hewan. Kajian diarahkan pada *hubungan satu individu hewan dengan lingkungan abiotik dan biotiknya*, termasuk adaptasi morfologis, fisiologis, dan perilaku (Krebs, 2016). *Fokus kajian* meliputi a). Respon fisiologis terhadap suhu, air, dan cahaya. b). Adaptasi perilaku seperti mencari makan, kawin, atau perlindungan. dan c). Strategi bertahan hidup dan reproduksi. Contoh Unta Arab (*Camelus dromedarius*) mampu menghemat air dengan mengeluarkan urin pekat dan keringat minimal. Burung hantu (*Tyto alba*) memiliki struktur telinga asimetris untuk menangkap suara mangsa di malam hari. Ikan arwana (*Scleropages formosus*) meloncat untuk menangkap serangga terbang sebagai adaptasi perilaku mencari makan. **Istilah Autoekologi** yaitu kajian hubungan satu spesies atau individu dengan lingkungannya.

2. *Tingkat Populasi*

Populasi adalah sekumpulan individu *spesies yang sama* yang hidup di tempat dan waktu yang sama serta berpotensi bereproduksi satu sama lain (Odum & Barrett, 2020). *Fokus kajian* meliputi a). Ukuran dan kepadatan populasi. b). Pertumbuhan dan penurunan populasi (kelahiran, kematian, migrasi). c). Struktur umur dan pola penyebaran dan d). Regulasi populasi oleh faktor lingkungan (misalnya daya dukung habitat). Contoh populasi rusa timor (*Rusa timorensis*) di Baluran menurun saat musim kemarau akibat berkurangnya rumput pakan. Populasi ikan pelagis di Laut Jawa dikaji dengan model *logistic growth* untuk menentukan *maximum sustainable yield* (MSY). Populasi monyet ekor panjang di kawasan wisata meningkat karena ketersediaan makanan dari pengunjung. Istilah ***Demoekologi*** yaitu studi tentang dinamika populasi hewan.

3. *Tingkat Komunitas*

Komunitas adalah kumpulan berbagai populasi spesies yang hidup bersama di suatu habitat dan saling berinteraksi (Begon *et al.*, 2021). *Fokus kajian* mencakup a). Interaksi biotik (*predasi, kompetisi, mutualisme, komensalisme, dan parasitisme*). b). Struktur komunitas (keanekaragaman spesies, dominansi, dan stratifikasi), dan c). *Succesion* (suksesi) dan kestabilan komunitas. Contoh burung jalak dan kerbau: mutualisme — burung memakan parasit di kulit kerbau. Harimau sumatra dan rusa: hubungan predator-mangsa menjaga keseimbangan populasi. Kutu dan anjing liar: parasitisme yang mengurangi kebugaran inang. Istilah ***Sinecologi*** yaitu studi

tentang hubungan antarpopulasi dan pembentukan komunitas.

4. *Tingkat Ekosistem*

Ekosistem merupakan sistem fungsional yang terdiri atas *komponen biotik (makhluk hidup) dan abiotik (lingkungan fisik-kimia)* yang saling berinteraksi membentuk aliran energi dan daur materi (Odum, 1971). *Fokus kajiannya* a). Aliran energi (produsen → konsumen → pengurai). b). Daun nutrisi dan siklus biogeokimia. c). Produktivitas primer dan sekunder, dan d). Keseimbangan dan resiliensi ekosistem. Contoh ekosistem mangrove di Pantai utara Jawa menyediakan tempat berlindung bagi ikan, juvenil, dan burung air. Ekosistem padang rumput Baluran menjadi habitat bagi banteng Jawa dan serigala ekor hitam. Ekosistem terumbu karang Raja Ampat mendukung ribuan spesies ikan dan invertebrata laut. Ekologi hewan pada tingkat ini penting dalam *perencanaan konservasi dan restorasi habitat*.

5. *Tingkat Biosfer*

Biosfer adalah keseluruhan wilayah bumi yang dapat mendukung kehidupan — mencakup seluruh ekosistem darat, air, dan udara (Odum & Barrett, 2020). *Fokus kajian* a). Distribusi global spesies dan pola biogeografi. b). Dampak perubahan iklim terhadap habitat dan migrasi, serta c). Hubungan antarbioma di seluruh planet. Contoh *Migrasi burung pantai Asia-Australasia*, melintasi Siberia-Indonesia-Australia setiap tahun. *Perubahan suhu global* memengaruhi populasi mamalia kutub seperti beruang dan anjing laut. *Kepunahan massal serangga* akibat deforestasi dan pestisida berdampak global terhadap rantai makanan. Kajian

biosfer mengajarkan pentingnya ***tanggung jawab global*** dalam pengelolaan sumber daya dan konservasi keanekaragaman hayati. Kelima tingkat organisasi dalam ekologi hewan — *individu, populasi, komunitas, ekosistem, dan biosfer* — merupakan *sistem bertingkat yang saling terkait dan membentuk jejaring kehidupan*. Pemahaman berlapis ini menjadi dasar dalam mempelajari interaksi antarorganisme dan dalam merancang kebijakan pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan (Capra, 1996).



Gambar 1. 5 Tingkat Organisasi Ekologi Hewan

b. Cakupan Tematik Ekologi Hewan

Ekologi hewan memiliki *cakupan tematik yang sangat luas*, karena hewan merupakan komponen penting dalam setiap ekosistem di bumi. Kajian ini tidak hanya berfokus *pada keberadaan hewan secara individual*, tetapi juga bagaimana mereka *berinteraksi, beradaptasi, dan berperan dalam menjaga keseimbangan ekosistem* (Odum & Barrett, 2020). Menurut Krebs (2016), ekologi hewan mencakup berbagai topik yang dapat dikategorikan dalam *tiga ranah besar*, yaitu 1. Interaksi antarhewan dan lingkungannya (*ekologi fungsional*). 2. Dinamika populasi dan komunitas (*ekologi populasi dan sinekologi*), dan 3. Peranan hewan dalam ekosistem dan biosfer (*ekologi sistemik dan terapan*)

1. Ekologi Fungsional (*Functional Ecology*)

Ekologi fungsional mempelajari ***bagaimana hewan beradaptasi terhadap faktor lingkungan***, baik abiotik (fisik-kimia) maupun biotik (makhluk hidup lain). *Fokus kajian* a). Adaptasi morfologi, fisiologi, dan perilaku terhadap kondisi lingkungan. b). Strategi hidup dan reproduksi dalam menghadapi tekanan lingkungan, dan c). Pengaruh suhu, cahaya, air, dan nutrisi terhadap aktivitas hewan. Contoh Katak pohon (*Rhacophorus reinwardtii*) memiliki selaput pada kaki untuk melompat antar pohon di hutan hujan tropis. Burung migran menyesuaikan waktu migrasi dengan perubahan musim. Kelelawar buah (*Pteropus vampyrus*) aktif di malam hari untuk menghindari kompetisi dan panas siang hari. Ekologi fungsional menjelaskan ***“mengapa”***

dan “*bagaimana*” hewan menyesuaikan diri agar tetap hidup dan berkembang.

2. *Ekologi Populasi (Population Ecology)*

Ekologi populasi menelaah ***dinamika jumlah individu dalam suatu spesies*** serta faktor-faktor yang memengaruhinya (Begon, *et al.*, 2021). *Fokus kajian* a). Pertumbuhan populasi (eksponensial dan logistic). b). Daya dukung lingkungan (*carrying capacity*). c). Pola penyebaran dan struktur umur, serta d). Regulasi populasi oleh predator, parasit, atau sumber daya. Contoh populasi gajah sumatra (*Elephas maximus sumatranus*) menurun akibat deforestasi dan konflik manusia-satwa. Populasi ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) di Laut Jawa berfluktuasi mengikuti musim *upwelling*. Populasi kelinci liar di Australia meningkat pesat setelah introduksi karena tidak ada predator alami. Ekologi populasi menjadi dasar dalam pengelolaan *konservasi satwa liar dan perikanan berkelanjutan*.

3. *Ekologi Komunitas (Community Ecology)*

Ekologi komunitas mempelajari ***interaksi antarpopulasi berbagai spesies*** dalam suatu wilayah, serta bagaimana interaksi itu membentuk struktur komunitas (Odum, 1971). *Fokus kajian* a). Hubungan predator–mangsa, kompetisi, mutualisme, komensalisme, dan parasitisme. b). Struktur komunitas (keanekaragaman, dominansi, stratifikasi, dan suksesi). c). Perubahan komunitas akibat gangguan (*disturbance*) alamiah atau manusia. Contoh *Komunitas terumbu karang* terdiri dari ikan, karang, moluska, dan alga yang saling

bergantung. *Komunitas padang rumput Afrika*: singa, zebra, dan antelop membentuk jaringan trofik kompleks. *Komunitas hutan hujan Kalimantan*: orangutan sebagai spesies kunci penyebar biji pohon hutan. Ekologi komunitas menunjukkan bahwa *keanekaragaman dan interaksi antarspecies* merupakan fondasi keseimbangan ekosistem.

4. **Ekologi Ekosistem (Ecosystem Ecology)**

Ekologi ekosistem mempelajari ***fungsi dan aliran energi serta daur materi*** di antara komponen biotik dan abiotik dalam suatu sistem (Odum & Barrett, 2020). *Fokus kajian a)*. Aliran energi melalui rantai makanan dan jaring makanan. *b)*. Daur ulang unsur hara (C, N, P, dan H₂O). *c)*. Produktivitas primer dan sekunder, serta *d)*. Peran hewan dalam dekomposisi, penyerbukan, dan penyebaran benih. Contoh *Ikan herbivora* di terumbu karang berperan menjaga keseimbangan antara alga dan karang. *Kumbang kotoran* membantu dekomposisi dan memperbaiki struktur tanah. *Lalat penyerbuk* berkontribusi terhadap siklus nutrisi di ekosistem pegunungan tropis. Kajian ini menegaskan bahwa *hewan tidak hanya penerima dampak lingkungan, tetapi juga pengatur fungsi ekologis*.

5. **Ekologi Global dan Terapan**

Bidang ini mencakup ***pengaruh aktivitas manusia terhadap ekologi hewan dalam skala global, serta penerapan ilmu ekologi*** dalam konservasi dan pengelolaan lingkungan (Capra, 1996). *Fokus kajian a)*. Perubahan iklim

dan migrasi hewan. b). Fragmentasi habitat dan kehilangan keanekaragaman hayati. c). Ekologi konservasi dan restorasi habitat, serta d). Manajemen satwa liar, bioindikator, dan kebijakan lingkungan. Contoh *Perubahan jalur migrasi paus biru* akibat kenaikan suhu laut. *Konservasi penyu hijau* di Pantai Sukamade sebagai upaya menjaga populasi terancam. *Ekowisata berbasis satwa liar* (seperti orangutan di Tanjung Puting) yang mendukung ekonomi lokal dan pelestarian alam. Ekologi terapan menekankan pentingnya *sinergi antara ilmu pengetahuan, kebijakan, dan kesadaran masyarakat*.

Selain berdasarkan tingkat organisasi, ruang lingkup ekologi hewan juga dapat dilihat dari *tema-tema kajian utama* (Tabel 1.3).

Tabel 1. 3 Cakupan Tematik Ekologi Hewan

Tema Kajian	Fokus Utama	Contoh Penerapan
Ekologi Perilaku	Adaptasi perilaku terhadap lingkungan	Pola migrasi burung dan komunikasi lumba-lumba
Ekologi Populasi	Struktur dan dinamika populasi	Penentuan MSY pada perikanan tangkap
Ekologi Komunitas	Interaksi antarspesies	Hubungan predator-mangsa pada ekosistem savana
Ekologi Habitat	Keterkaitan hewan dengan tipe habitat	Preferensi kelelawar terhadap gua atau hutan

Tema Kajian	Fokus Utama	Contoh Penerapan
Ekologi Lanskap	Hubungan antar-ekosistem dan pergerakan satwa	Fragmentasi habitat gajah Sumatra
Ekologi Global	Pengaruh faktor iklim dan geografi global	Dampak perubahan iklim terhadap migrasi penyu laut



Tabel 1. 4 Cakupan Tematik Ekologi Hewan

c. Integrasi Ekologi Hewan dengan Ilmu Lain

Ekologi hewan merupakan cabang ilmu biologi yang ***bersifat interdisipliner dan holistik***, karena mempelajari makhluk hidup dalam konteks lingkungan yang kompleks. Pemahaman mendalam tentang perilaku, distribusi, dan peran hewan di alam tidak dapat dicapai tanpa dukungan dari disiplin ilmu lain — baik dari bidang biologi murni maupun ilmu terapan (Odum & Barrett, 2020). Menurut Begon, *et al.*, (2021), kekuatan ekologi hewan justru terletak pada *kemampuannya mengintegrasikan biologi dengan fisika, kimia, geografi, hingga ilmu sosial* untuk menjawab pertanyaan ekologis yang luas dan dinamis.

1. Hubungan dengan Ilmu Biologi

Ekologi hewan adalah bagian dari biologi yang *mengkaji hubungan antara organisme dan lingkungannya*. Namun, ia juga beririsan kuat dengan subdisiplin lain dalam biologi yang mendukung pemahaman struktur dan fungsi kehidupan. Bentuk integrasi: a). *Fisiologi hewan*; menjelaskan adaptasi fungsional terhadap suhu, air, dan metabolisme energi. b). *Genetika dan evolusi*; memahami variasi dan seleksi alam dalam populasi hewan. c). *Zoologi dan taksonomi*; mengidentifikasi spesies dan perannya dalam ekosistem, serta d). *Etologi* (ilmu perilaku); menelaah respon dan interaksi sosial hewan terhadap lingkungan. Contoh adaptasi genetik pada beruang kutub (*Ursus maritimus*) terhadap suhu dingin ekstrem. Studi *hormon stres pada burung* untuk memprediksi perubahan habitat. Analisis *DNA lingkungan (eDNA)* dalam identifikasi keanekaragaman hewan akuatik. Integrasi ini

membantu menjelaskan *mengapa* dan *bagaimana* hewan dapat bertahan dan berevolusi dalam kondisi ekologis tertentu.

2. Hubungan dengan Ilmu Geografi dan Geologi

Ekologi hewan tidak bisa dilepaskan dari *dimensi ruang dan waktu*. Ilmu geografi membantu menjelaskan *distribusi spasial dan pola penyebaran hewan*, sedangkan geologi menjelaskan *sejarah bumi dan perubahan habitat* yang memengaruhi evolusi fauna (Lomolino *et al.*, 2017). Bentuk integrasi: a). *Biogeografi*; mempelajari distribusi hewan di permukaan bumi. b). *Geomorfologi*; menjelaskan hubungan bentuk lahan dan habitat. c). *Paleontologi dan geologi*; merekonstruksi sejarah evolusi dan kepunahan fauna. Contoh kajian *biogeografi Wallacea* menjelaskan perbedaan fauna Asia dan Australia di Indonesia Timur. Perubahan lempeng tektonik menyebabkan isolasi dan *spesiasi burung endemik di Sulawesi*. Data geologi digunakan untuk memetakan *perpindahan mamalia besar* di masa Pleistosen dan memprediksi kedepannya.

3. Hubungan dengan Ilmu Kimia dan Fisika Lingkungan

Ekologi hewan juga mengandalkan *ilmu kimia dan fisika* untuk memahami mekanisme lingkungan yang memengaruhi kehidupan. Bentuk integrasi: a). *Kimia lingkungan*; meneliti pengaruh polutan dan logam berat terhadap fauna. b). *Fisika lingkungan*; menganalisis suhu, arus, cahaya, dan dinamika energi, serta c). *Biofisika dan fisiologi ekologi*; menjelaskan

keseimbangan energi dalam tubuh hewan. Contoh *Dugong* (*Dugong dugon*) terpengaruh oleh perubahan suhu dan salinitas laut. Penelitian *burung migran* menggunakan isotop stabil untuk melacak sumber makanan dan jalur migrasi. *Ikan di perairan tercemar merkuri* menunjukkan gangguan metabolisme akibat akumulasi logam berat. Integrasi dengan ilmu fisika dan kimia memungkinkan pemodelan *energi, nutrien, dan polutan* dalam sistem ekologis.

4. Hubungan dengan Ilmu Matematika, Statistik, dan Komputer

Pendekatan modern dalam ekologi hewan sangat bergantung pada ***analisis kuantitatif dan pemodelan komputer*** untuk memahami dinamika sistem alam yang kompleks (Gotelli, 2015). Bentuk integrasi: a). *Model matematika populasi*; seperti model pertumbuhan logistik dan Lotka–Volterra. b). *Statistik ekologi*; analisis keanekaragaman, korelasi lingkungan, dan regresi spasial. c). *GIS dan penginderaan jauh*; pemetaan distribusi habitat dan satwa liar, serta d). *Pemodelan ekologi komputasional*; simulasi perubahan populasi atau iklim. Contoh penggunaan *software MaxEnt* untuk memprediksi habitat potensial harimau sumatra. Model *Dynamical system* digunakan untuk menganalisis stabilitas populasi predator–mangsa. *Drone dan Citra satelit* memantau pergerakan kawanan gajah di savana Afrika. Integrasi ini menjadikan ekologi hewan ***lebih presisi, prediktif, dan aplikatif***.

5. Hubungan dengan Ilmu Sosial dan Lingkungan

Karena manusia merupakan bagian dari ekosistem, maka ekologi hewan juga terhubung erat dengan *ilmu sosial dan kebijakan lingkungan* (Capra, 1996). Aspek ini penting terutama dalam konteks *konservasi satwa liar dan pengelolaan sumber daya berkelanjutan*. Bentuk integrasi: *a). Sosiologi dan antropologi lingkungan*; hubungan manusia dengan satwa liar. *b). Ekonomi ekologi*; valuasi jasa ekosistem dan ekowisata. *c). Hukum dan kebijakan lingkungan*; perlindungan spesies terancam, serta *d). Pendidikan dan komunikasi lingkungan*; meningkatkan kesadaran ekologis masyarakat. Contoh Konflik *manusia-gajah di Aceh* ditangani melalui pendekatan sosial-budaya dan tata ruang. Program *ekowisata penyu di Bali* menggabungkan konservasi dan ekonomi lokal. *Kebijakan CITES* mengatur perdagangan internasional satwa langka. Integrasi sosial-ekologis menjadi kunci keberhasilan *pengelolaan fauna dan keberlanjutan ekosistem*.

Ekologi hewan tidak berdiri sendiri, melainkan merupakan ***simpul ilmu pengetahuan lintas bidang*** yang menjembatani biologi, geografi, fisika, kimia, matematika, dan ilmu sosial. Pendekatan integratif ini memungkinkan kita memahami kehidupan hewan *secara sistemik dan realistis*, serta mengembangkan solusi terhadap permasalahan lingkungan global seperti kehilangan habitat, perubahan iklim, dan kepunahan spesies (Odum, 1971; Capra, 1996).

1.3 Sejarah dan Perkembangan Ekologi Hewan

Ekologi hewan merupakan hasil evolusi panjang dari ilmu biologi yang mempelajari *hubungan antara hewan dan lingkungannya*. Bidang ini berkembang seiring dengan kemajuan ilmu alam, biogeografi, dan evolusi, serta kebutuhan manusia untuk memahami ***pola keberadaan dan keseimbangan kehidupan di alam*** (Odum, 1971). Perjalanan sejarah ekologi hewan memperlihatkan bagaimana pandangan manusia terhadap alam berubah — dari sekadar pengamatan deskriptif menjadi *pendekatan ilmiah dan sistemik* terhadap interaksi makhluk hidup (Begon, *et al.*, 2021).

1. Periode Awal: Prailmiah dan Klasik (Sebelum Abad ke-19)

Pada masa awal, kajian tentang hewan dan lingkungannya *belum dikenal sebagai ekologi*, tetapi sudah tampak dalam pengamatan para filsuf dan naturalis. Tokoh dan kontribusinya:

1. *Aristoteles (384–322 SM)* — mendeskripsikan perilaku dan habitat hewan dalam *Historia Animalium*, cikal bakal pendekatan ekologis deskriptif.
2. *Theophrastus (371–287 SM)* — menulis tentang hubungan antara organisme dan lingkungan; dianggap sebagai “Bapak Ekologi”.
3. *Plinius dan Linnaeus (1707–1778)* — mengembangkan klasifikasi hewan dan memperkenalkan gagasan “kesesuaian makhluk terhadap lingkungan”.
4. *Alexander von Humboldt (1769–1859)* — tokoh biogeografi modern yang meneliti distribusi spesies berdasarkan kondisi iklim dan geografi.

Ciri utama periode ini a. Observasi alamiah (*natural history*). b. Deskriptif dan non-eksperimental. c. Fokus pada penyebaran dan keanekaragaman hewan.

2. Periode Pembentukan Ekologi Modern (Akhir Abad ke-19)

Istilah “*ekologi*” (*ecology*) pertama kali diperkenalkan oleh *Ernst Haeckel* pada tahun 1866 dalam bukunya *Generelle Morphologie der Organismen*. Ia mendefinisikan ekologi sebagai ilmu yang mempelajari **hubungan organisme dengan lingkungan organik dan anorganiknya** (Haeckel, 1866). Perkembangan penting:

1. Munculnya *ekologi hewan sebagai cabang zoologi terapan*.
2. *Charles Darwin (1859)* melalui *On the Origin of Species* memperkenalkan konsep *adaptasi, kompetisi, dan seleksi alam*, yang menjadi fondasi utama ekologi hewan.
3. *Karl Möbius (1877)* memperkenalkan konsep *biocenosis* — komunitas makhluk hidup yang berinteraksi di suatu habitat.

Ciri periode a. Munculnya istilah dan konsep dasar ekologi. b. Fokus pada adaptasi dan hubungan organisme dengan lingkungan. c. Awal penggunaan metode eksperimen lapangan.

3. Periode Analisis dan Kuantifikasi (Awal–Pertengahan Abad ke-20)

Pada masa ini, ekologi hewan berkembang menjadi **ilmu eksperimental dan kuantitatif**. Para ilmuwan mulai mengukur, memodelkan, dan menganalisis dinamika populasi serta interaksi ekologis dengan pendekatan matematis. Tokoh dan kontribusinya:

1. *Vito Volterra (1926) & Alfred Lotka (1925); memperkenalkan model matematika predator-mangsa (Lotka-Volterra model).*
2. *Charles Elton (1927); menulis Animal Ecology; memperkenalkan konsep niche, rantai makanan, dan piramida ekologi.*
3. *G. Evelyn Hutchinson (1957); mendefinisikan niche ekologis secara multidimensi.*
4. *Eugene P. Odum (1953); menulis Fundamentals of Ecology, memperkuat integrasi antara ekologi hewan, energi, dan sistem lingkungan.*

Ciri periode a. Munculnya pendekatan kuantitatif dan eksperimental. b. Fokus pada energi, populasi, dan interaksi komunitas. c. Lahirnya konsep-konsep kunci: niche, food web, succession, dan ecosystem.

4. Periode Integratif dan Global (Akhir Abad ke-20 – Awal Abad ke-21)

Memasuki era modern, ekologi hewan menjadi **ilmu lintas disiplin** yang menggabungkan biologi, geografi, klimatologi, komputer, dan sosial-humaniora. Teknologi penginderaan jauh, sistem informasi geografis (GIS), dan bioteknologi memperluas cakupan penelitian ekologi hewan (Capra, 1996). Inovasi dan perkembangan berupa:

1. *Model dinamika populasi global untuk konservasi spesies terancam.*
2. *Pemantauan satwa liar menggunakan GPS dan drone tracking.*
3. *Metode eDNA (environmental DNA) untuk deteksi spesies langka di habitat alami.*
4. *Integrasi ekologi perilaku, ekologi lanskap, dan ekologi konservasi.*

5. Munculnya bidang baru seperti *ekologi penyakit satwa liar (wildlife epidemiology)* dan *ekologi iklim (climate ecology)*.

Ciri periode a. Berorientasi pada konservasi dan keberlanjutan global. b. Menggunakan pendekatan interdisipliner dan teknologi tinggi. c. Fokus pada perubahan lingkungan dan dampaknya terhadap fauna.

5. Ekologi Hewan di Indonesia

Kajian ekologi hewan di Indonesia mulai berkembang pada pertengahan abad ke-20, seiring dengan penelitian zoologi tropis dan konservasi biodiversitas. Tonggak penting:

1. *Balai Konservasi Sumber Daya Alam (BKSDA)* dan *LIPI (kini BRIN)* menjadi pusat riset fauna endemik.
2. Penelitian ekologi *orangutan, komodo, jalak bali, dan penyu laut* menjadi proyek konservasi nasional.
3. Kajian *ekologi laut dan perikanan tropis* berkembang melalui universitas dan lembaga riset perairan.
4. Pendekatan *ekologi perilaku dan bioakustik* digunakan untuk studi primata dan burung endemik.

Contoh riset mutakhir a. Studi *perilaku sosial orangutan Tapanuli* dalam hutan dataran tinggi Batang Toru. b. Kajian *pola migrasi penyu hijau di Laut Jawa* menggunakan pelacak satelit. c. Model *habitat suitability harimau sumatra* berbasis GIS untuk konservasi taman nasional.

Perkembangan ekologi hewan mencerminkan ***perjalanan ilmu dari observasi sederhana menuju analisis sistem kompleks***. Dari pengamatan Aristoteles hingga pemodelan ekologi global masa kini, bidang ini

terus berkembang untuk menjawab tantangan utama: *bagaimana memahami dan menjaga keseimbangan kehidupan hewan di bumi*. Sebagai cabang ilmu yang dinamis, ekologi hewan kini berperan penting dalam pelestarian hewan (Begon *et al.*, 2021; Odum & Barrett, 2020).

1.4 Komponen Lingkungan dalam Ekologi Hewan

Hewan tidak hidup terpisah dari lingkungannya. Semua aktivitas kehidupan—makan, berkembang biak, beradaptasi, dan berpindah—tergantung pada *komponen lingkungan* yang menyusunnya. Dalam ekologi hewan, lingkungan (*environment*) mencakup *semua faktor eksternal yang memengaruhi kehidupan organisme, baik bersifat biotik (makhluk hidup lain) maupun abiotik* (unsur fisik dan kimia) (Odum & Barrett, 2020). Pemahaman tentang komponen lingkungan sangat penting karena interaksi antara hewan dan lingkungannya menentukan *distribusi, kelimpahan, serta keseimbangan ekosistem*.

Secara ekologis, *komponen lingkungan* adalah seluruh unsur yang berada di luar organisme dan berpengaruh terhadap kehidupan serta proses ekologisnya (Begon, *et al.*, 2021). Komponen tersebut dapat dibedakan menjadi dua kelompok utama: 1. *Komponen Abiotik* — faktor tak hidup yang meliputi kondisi fisik dan kimia lingkungan. 2. *Komponen Biotik* — faktor hidup yang meliputi semua bentuk kehidupan lain yang berinteraksi dengan hewan. Kedua komponen ini *tidak terpisah*, melainkan saling memengaruhi dan membentuk sistem ekologis yang dinamis.

1. Komponen Abiotik (Faktor Fisik dan Kimia)

Komponen abiotik menciptakan *kondisi habitat* tempat hewan hidup. Faktor-faktor abiotik berperan dalam menentukan *adaptasi fisiologis, perilaku, dan distribusi geografis hewan*, meliputi:

a. Faktor Fisik

1. *Suhu (Temperature)*; Suhu lingkungan memengaruhi metabolisme dan aktivitas hewan. a. Hewan poikilotherm (mis. reptil, ikan) bergantung pada suhu luar untuk mengatur suhu tubuh. b. Hewan homeotherm (mis. burung, mamalia) memiliki mekanisme internal untuk menjaga suhu tubuh konstan. *Contoh*: Pengaturan perilaku berjemur pada iguana laut (Galápagos) untuk menaikkan suhu tubuh.
2. *Cahaya (Light)*; berpengaruh pada pola aktivitas harian (*diurnal/nocturnal*), migrasi, dan reproduksi. *Contoh* Burung migran menggunakan panjang siang (*photoperiod*) sebagai pemicu migrasi musiman.
3. *Kelembapan dan Curah Hujan (Moisture & Rainfall)*; menentukan distribusi hewan darat; hewan gurun beradaptasi dengan retensi air dan aktivitas malam hari.
4. *Tekanan dan Kedalaman (Pressure & Depth)*; penting bagi hewan laut; tekanan tinggi di laut dalam memengaruhi struktur tubuh dan metabolisme.
5. *Topografi dan Arus (Topography & Current)*; arus laut memengaruhi distribusi plankton, ikan pelagis, dan hewan laut migran seperti paus.

b. Faktor Kimia

1. *pH dan Salinitas*; menentukan jenis hewan yang mampu hidup di lingkungan tertentu. *Contoh*: Ikan air tawar dan ikan laut memiliki mekanisme osmoregulasi berbeda untuk menyesuaikan kadar garam.
2. *Oksigen Terlarut (Dissolved Oxygen)*; berpengaruh langsung terhadap respirasi akuatik. Perubahan DO sering menjadi indikator kualitas ekosistem perairan.
3. *Nutrien dan Mineral*; unsur seperti nitrogen, fosfor, dan kalsium dibutuhkan dalam rantai makanan dan pembentukan jaringan tubuh.
4. *Kualitas Air dan Tanah*; polutan atau logam berat dapat menyebabkan stres fisiologis pada hewan dan mengganggu reproduksi.

2. Komponen Biotik (Faktor Hidup)

Komponen biotik mencakup *semua makhluk hidup lain yang berinteraksi* dengan hewan, baik sesama spesies maupun spesies berbeda. Interaksi ini membentuk ***jejaring kehidupan (web of life)*** yang kompleks (Elton, 1927).

a. Produsen (Autotrof)

Tumbuhan hijau, fitoplankton, dan alga menyediakan energi melalui fotosintesis. Hewan bergantung pada produsen secara langsung atau tidak langsung sebagai sumber makanan. *Contoh*: Fitoplankton → zooplankton → ikan kecil → ikan predator → elang laut.

b. Konsumen (Heterotrof)

Hewan lain yang berinteraksi dalam hubungan makan-memakan, baik sebagai *Herbivora* (pemakan

tumbuhan), *Karnivora* (pemakan daging), *Omnivora* (pemakan segala), dan *Detritivora* (pemakan sisa organik). *Contoh:* Serigala memangsa rusa → memengaruhi populasi rusa dan keseimbangan vegetasi hutan.

c. *Dekomposer dan Detritus Feeder*

Mikroorganisme seperti bakteri dan jamur menguraikan sisa organisme mati menjadi bahan anorganik yang dapat digunakan kembali.

d. *Interaksi Antara Hewan dan Komponen Biotik Lain*

Bentuk interaksi ekologis meliputi: *Kompetisi* (mis. burung dan kelelawar bersaing atas sumber buah), *Predasi* (mis. ular memangsa tikus), *Parasitisme* (mis. cacing pita pada mamalia), *Mutualisme* (mis. burung jalak membersihkan kutu di tubuh kerbau), dan *Komensalisme* (mis. ikan remora menempel pada hiu untuk mendapatkan sisa makanan).

3. Hubungan Antara Komponen Abiotik dan Biotik

Interaksi antara faktor abiotik dan biotik bersifat ***resiprokal dan dinamis***: a. Kondisi abiotik menentukan *batas toleransi hidup hewan* (mis. suhu, pH, oksigen). b. Hewan dapat pula *mengubah lingkungan fisiknya*, seperti penggalian liang oleh tikus tanah yang memengaruhi aerasi tanah. c. Dalam jangka panjang, hubungan ini menciptakan *keseimbangan ekosistem dan pola adaptasi evolusioner*. *Contoh ilustratif:* Ekosistem padang rumput Afrika — faktor abiotik (curah hujan musiman) memengaruhi pertumbuhan rumput (biotik), yang pada gilirannya memengaruhi migrasi zebra, gajah, dan singa.

Signifikansi ekologis komponen lingkungan adalah dengan memahami komponen lingkungan memungkinkan ilmuwan untuk a. memprediksi *pola distribusi fauna* di

berbagai habitat, b. menilai *daya dukung lingkungan* (*carrying capacity*) suatu ekosistem, c. menentukan strategi *konservasi satwa liar* berbasis habitat, dan d. mengantisipasi dampak *perubahan iklim global* terhadap fauna.

1.5 Pendekatan dalam Studi Ekologi Hewan

Ekologi hewan merupakan bidang ilmu yang kompleks karena melibatkan hubungan *organisme–lingkungan* dalam berbagai skala individu, populasi, komunitas, hingga ekosistem. Untuk memahami sistem yang begitu dinamis ini, para ahli menggunakan berbagai *pendekatan penelitian* yang berbeda namun saling melengkapi — mulai dari pengamatan lapangan hingga pemodelan sistem ekologi (Begon, *et al.*, 2021). Pendekatan dalam studi ekologi hewan bertujuan untuk 1. Mengungkap *mekanisme interaksi* antara hewan dan lingkungannya. 2. Menjelaskan *pola distribusi dan kelimpahan spesies*. 3. Merumuskan dasar ilmiah bagi *konservasi dan pengelolaan sumber daya fauna*.

Dalam praktiknya, penelitian ekologi hewan memanfaatkan ***beragam metode dan pendekatan ilmiah***, tergantung pada tujuan dan skala kajian.

a. Pendekatan Deskriptif (*Natural History*)

Menekankan *pengamatan langsung* terhadap perilaku, habitat, dan distribusi hewan di alam. Umumnya digunakan sebagai tahap awal eksplorasi biodiversitas atau identifikasi spesies. *Contoh*: Observasi perilaku kawin burung maleo di Sulawesi atau pola sarang semut rangrang.

b. Pendekatan Komparatif (Perbandingan Spesies)

Membandingkan spesies berbeda untuk memahami adaptasi ekologis yang khas. *Contoh*: Studi perbandingan

sistem sosial antara monyet ekor panjang dan owa untuk memahami evolusi perilaku sosial.

c. Pendekatan Kuantitatif dan Pemodelan

Menggunakan *data numerik dan persamaan matematis* untuk menjelaskan fenomena ekologis. Termasuk model pertumbuhan populasi, *Lotka-Volterra*, atau model prediksi habitat. *Contoh:* Model populasi penyu laut berbasis simulasi komputer untuk memprediksi dampak perubahan iklim terhadap reproduksi.

d. Pendekatan Evolusioner

Melihat ekologi hewan sebagai hasil *adaptasi evolusi jangka panjang* terhadap tekanan lingkungan. *Contoh:* Adaptasi warna tubuh bunglon yang berevolusi sebagai mekanisme kamuflase terhadap predator.

e. Pendekatan Ekofisiologis

Menganalisis *respon fisiologis* hewan terhadap kondisi lingkungan ekstrem. *Contoh:* Studi kemampuan beruang kutub mempertahankan suhu tubuh pada lingkungan bersalju ekstrem.



Gambar 1. 6 Pendekatan Studi Ekologi Hewan

1.5.1 Pendekatan Tingkat Organisasi Biologis

Dalam ekologi hewan, kehidupan dipelajari dalam berbagai *tingkatan organisasi biologis*, dari individu tunggal hingga ekosistem yang kompleks. Setiap tingkat memiliki *unit analisis, proses, dan interaksi ekologis yang khas*, tetapi semuanya saling berhubungan membentuk satu kesatuan sistem kehidupan (Odum & Barrett, 2020). Pendekatan ini membantu ilmuwan memahami ***bagaimana mekanisme ekologis bekerja di berbagai skala*** — mulai dari perilaku individu, dinamika populasi, hingga aliran energi di seluruh ekosistem.

Ekologi memandang alam sebagai ***sistem hierarkis***, di mana setiap tingkat menunjukkan hubungan sebab-akibat antara struktur dan fungsi. Pendekatan ini mencerminkan prinsip “*from individuals to ecosystems*” (Begon, *et al.*, 2021). Tingkatan organisasi dalam ekologi hewan dapat digambarkan sebagai berikut: Individu → Populasi → Komunitas → Ekosistem → Bioma → Biosfer. Namun, dalam konteks ekologi hewan, fokus utama biasanya berhenti pada *empat tingkatan pertama*, karena di sanalah hubungan hewan dan lingkungannya paling nyata dan terukur.

1. Individu (Autoekologi)

Autoekologi adalah cabang ekologi yang mempelajari *hubungan antara satu individu hewan dan lingkungannya*. Fokus kajiannya mencakup: a. Adaptasi fisiologis dan morfologis terhadap lingkungan. b. Perilaku individu dalam merespons perubahan habitat. c. Strategi bertahan hidup, makan, dan reproduksi. *Contoh:* Burung hantu mengubah pola berburu berdasarkan intensitas cahaya malam. Iguana laut (*Amblyrhynchus cristatus*) di Galápagos berjemur untuk mengatur suhu tubuh. Kelelawar buah memanfaatkan sonar

untuk navigasi dan mencari makan di malam hari. Tujuannya mengetahui **toleransi ekologis** (*ecological tolerance*) dan **adaptasi fisiologis** suatu spesies terhadap faktor abiotik.

2. Populasi (Demekologi)

Populasi adalah sekumpulan individu dari spesies yang sama yang hidup pada waktu dan tempat tertentu, serta dapat berinteraksi dan bereproduksi. **Demekologi** mempelajari dinamika populasi hewan, meliputi a. Pertumbuhan dan penurunan populasi. b. Pola reproduksi dan mortalitas. c. Migrasi dan disperse, serta d. Regulasi populasi oleh faktor lingkungan dan interaksi biotik. *Contoh:* Populasi rusa di hutan boreal naik-turun mengikuti ketersediaan makanan musim dingin. Populasi ikan teri di perairan tropis meningkat saat suhu laut naik (fenomena *El Niño*). Populasi penyu hijau di pesisir Bali berfluktuasi karena tekanan perburuan dan perubahan pantai. Tujuannya memahami *mekanisme pengaturan populasi* (*population regulation*) dan *daya dukung lingkungan* (*carrying capacity, K*).

3. Komunitas (Sinekologi)

Komunitas hewan adalah kumpulan berbagai populasi yang hidup bersama di suatu habitat dan saling berinteraksi.

Sinekologi (*ecology of communities*) meneliti: a. Struktur komunitas (keragaman, dominansi, dan komposisi spesies). b. Interaksi antarspesies (predasi, kompetisi, parasitisme, mutualisme, dan komensalisme). c. *Succesion* (pergantian komunitas dari waktu ke waktu). *Contoh:* Komunitas padang savana Afrika terdiri atas herbivora (zebra, gajah) dan predator (singa, cheetah). Komunitas terumbu

karang melibatkan ikan, koral, moluska, dan alga dalam simbiosis mutualistik. Komunitas gua dihuni kelelawar, serangga gua, dan mikroorganisme yang bergantung pada detritus. Tujuannya menjelaskan ***pola interaksi dan kestabilan komunitas (community stability)*** serta peran tiap spesies dalam jejaring makanan (*food web*).

4. Ekosistem

Ekosistem mencakup seluruh interaksi antara *komponen biotik (hewan, tumbuhan, mikroba) dan abiotik (air, tanah, cahaya, iklim)* dalam suatu ruang tertentu. Kajian ekosistem hewan meliputi: a. Aliran energi melalui rantai makanan (produsen → konsumen → dekomposer). b. Siklus materi (karbon, nitrogen, fosfor). c. Peran hewan sebagai pengatur energi dan penyeimbang sistem. *Contoh:* Ekosistem mangrove: ikan, kepiting, dan burung air berperan dalam daur energi dan rantai makanan pesisir. Ekosistem sabana: herbivora menjaga vegetasi tetap terbuka melalui aktivitas grazing. Ekosistem sungai: ikan predator menjaga populasi ikan kecil agar tidak melebihi kapasitas lingkungan. Tujuannya memahami *fungsi ekologis* hewan dalam menjaga *homeostasis ekosistem* serta kontribusinya terhadap keberlanjutan biosfer.

Ekologi hewan dapat dipelajari pada berbagai *tingkat organisasi kehidupan* (Odum & Barrett, 2020) (Tabel 1.4).

Tabel 1. 5 Pendekatan Tingkat Organisasi Biologis

Tingkat	Fokus Kajian	Contoh Studi
Individu (Autoekologi)	Respons dan adaptasi individu terhadap lingkungan	Studi termoregulasi pada reptil gurun
Populasi (Demekologi)	Pertumbuhan, mortalitas, reproduksi, dan migrasi populasi	Dinamika populasi rusa di hutan boreal
Komunitas (Sinekologi)	Interaksi antarspesies dalam suatu habitat	Hubungan predator-mangsa antara singa dan zebra
Ekosistem	Aliran energi dan siklus materi antar komponen biotik-abiotik	Produktivitas ekosistem savana Afrika

Pendekatan ini bersifat ***hierarkis dan integratif***, artinya temuan pada tingkat individu memberi dasar bagi pemahaman populasi dan komunitas.

5. Integrasi antar Tingkatan

Setiap tingkat organisasi *tidak berdiri sendiri*, melainkan saling terkait secara hierarkis. Dengan demikian, *perubahan pada satu tingkat* (misalnya penurunan populasi) dapat berdampak ke seluruh sistem ekologis. Pendekatan tingkat organisasi biologis memberikan kerangka dasar bagi studi ekologi hewan (Tabel 1.5).

Tabel 1. 6 Integrasi Antar Tingkatan Organisasi

Tingkat	Hubungan Vertikal	Contoh Integrasi
Individu	→ Mempengaruhi struktur populasi	Adaptasi reproduksi ikan menentukan ukuran populasi
Populasi	→ Membentuk komunitas	Jumlah herbivora memengaruhi keseimbangan predator
Komunitas	→ Mengatur fungsi ekosistem	Keanekaragaman spesies menjaga stabilitas energi
Ekosistem	→ Menyokong kehidupan global	Ekosistem laut menyerap karbon dan menghasilkan oksigen

Melalui analisis mulai dari individu hingga ekosistem, kita dapat memahami: a. *Bagaimana hewan beradaptasi* terhadap lingkungan, b. *Bagaimana populasi bereaksi* terhadap perubahan kondisi alam, dan c. *Bagaimana komunitas menjaga keseimbangan ekosistem*. Pendekatan ini menjadi fondasi bagi seluruh kajian lanjutan dalam ekologi hewan, termasuk *konservasi biodiversitas, dinamika populasi, dan restorasi habitat*.

1.5.2 Pendekatan Metodologis dalam Ekologi Hewan

Pendekatan metodologis dalam ekologi hewan merupakan *kerangka ilmiah* yang digunakan untuk mempelajari hubungan antara hewan dan lingkungannya secara *kuantitatif, eksperimental, dan sistematis*. Metode ini memungkinkan ilmuwan

mengamati pola, menguji hipotesis, serta memprediksi perubahan ekologis di masa depan (Krebs, 2014). Studi ekologi hewan dapat dilakukan melalui *berbagai pendekatan metode*, meliputi 1. Observasi lapangan (*field observation*), 2. Eksperimen (*field & laboratory experiment*), 3. Pemodelan (*modeling*), dan 4. Pendekatan teknologi modern (*GIS, remote sensing, bioakustik, eDNA*). Masing-masing metode memiliki kekuatan, keterbatasan, dan konteks penerapan yang berbeda. Dalam praktiknya, penelitian ekologi hewan memanfaatkan *beragam metode dan pendekatan ilmiah*, tergantung pada tujuan dan skala kajian.

a. Observasi Lapangan (*Field Observation*)

Observasi lapangan merupakan metode paling mendasar dalam ekologi hewan. Melalui observasi, peneliti mencatat ***perilaku, distribusi, interaksi, dan adaptasi hewan*** secara langsung di habitat alaminya (Odum & Barrett, 2020). Tujuannya 1. Mengetahui pola aktivitas harian dan musiman. 2. Mengidentifikasi hubungan hewan dengan lingkungan fisiknya. 3. Menentukan faktor-faktor habitat yang memengaruhi keberadaan spesies. Contoh Pengamatan aktivitas *burung migran* di jalur Asia Timur–Australasia untuk menentukan waktu migrasi. Studi *kera ekor panjang* (*Macaca fascicularis*) di Taman Nasional Ujung Kulon yang meneliti pola makan berdasarkan musim. Observasi *penyu hijau* yang mendarat di pantai untuk bertelur dan hubungannya dengan siklus bulan.

Teknik yang digunakan a. *Transek dan plot sampling* untuk menghitung kepadatan dan distribusi. b. *Camera trap* (*kamera jebak*) untuk hewan nokturnal atau sulit diamati. c. *Pencatatan etogram* untuk perilaku hewan. Kelebihannya

menggambarkan kondisi nyata di alam. Dapat memunculkan penemuan tak terduga. Keterbatasannya dipengaruhi kondisi cuaca dan medan. Tidak selalu memungkinkan untuk mengontrol variabel.

b. Eksperimen (*Experimental Approach*)

Pendekatan eksperimen digunakan untuk *menguji hipotesis secara terkontrol, baik di lapangan (field experiment) maupun di laboratorium (lab experiment)*. Tujuannya untuk mengetahui **sebab-akibat (*causal relationship*)** antara faktor lingkungan dengan respons hewan. Contoh Eksperimen di laboratorium untuk menguji *pengaruh suhu terhadap metabolisme ikan guppy (Poecilia reticulata)*. Eksperimen lapangan yang memanipulasi *ketersediaan makanan* untuk mempelajari perubahan *tingkat kompetisi* pada burung pipit. Uji perilaku predator-prey menggunakan *model buatan (dummy prey)* untuk melihat preferensi serangan.

Jenis eksperimen 1. *Manipulatif*; variabel lingkungan diubah untuk mengamati efeknya. 2. *Natural experiment*; memanfaatkan kondisi alam yang berubah secara alami, misalnya bencana atau perubahan iklim. *Kelebihannya* menghasilkan data kuantitatif yang kuat dan terukur. Memungkinkan pengujian hipotesis secara langsung. *Keterbatasannya* kondisi eksperimen kadang tidak mewakili alam. Biaya dan waktu pelaksanaan tinggi.

c. Pemodelan Ekologis (*Ecological Modeling*)

Pemodelan merupakan pendekatan matematis dan komputasional untuk **mendeskripsikan, menganalisis, dan memprediksi** perilaku sistem ekologi hewan (Ricklefs, 2008). Tujuannya 1.

Menyusun *model populasi dan interaksi spesies*. 2. *Memprediksi dampak perubahan iklim* atau aktivitas manusia. 3. *Mengoptimalkan kebijakan konservasi berbasis data*. Jenis model:

Tabel 1. 7 Jenis Model Ekologis

Jenis Model	Contoh Penerapan
Model Populasi	Pertumbuhan populasi logistik ($dN/dt = rN(1 - N/K)$)
Model Predator–Prey	Model Lotka–Volterra untuk interaksi antara singa dan zebra
Model Spasial	Simulasi pergerakan satwa liar dengan algoritma dispersal
Model Energi	Neraca energi pada rantai makanan di ekosistem hutan hujan

Contoh: Pemodelan dinamika populasi *rusa di Taman Nasional Yellowstone* digunakan untuk memprediksi efek reintroduksi *serigala abu-abu* sebagai predator alami. Kelebihannya dapat memprediksi perubahan ekologi dalam jangka panjang. Menghemat waktu dan biaya penelitian. Keterbatasannya akurasi bergantung pada kualitas data. Tidak selalu merepresentasikan kompleksitas alam sepenuhnya.

d. Pendekatan Teknologi Modern

Kemajuan teknologi telah merevolusi penelitian ekologi hewan melalui pengumpulan dan analisis data berskala besar dan presisi tinggi. Jenis teknologi yang diaplikasikan seperti pada Tabel 1.8.

Tabel 1. 8 Jenis Teknologi Modern

Teknologi	Fungsi	Contoh Aplikasi
GIS (<i>Geographic Information System</i>)	Analisis spasial habitat dan distribusi hewan	Pemetaan sebaran gajah Sumatera berdasarkan tutupan hutan
<i>Remote Sensing</i> (Penginderaan Jauh)	Pemantauan perubahan habitat dari citra satelit	Analisis degradasi mangrove untuk habitat burung air
Bioakustik <i>Monitoring</i>	Mendeteksi aktivitas hewan melalui suara	Pendeteksian populasi paus menggunakan mikrofon bawah laut
Telemetry & GPS <i>Tagging</i>	Melacak pergerakan dan migrasi hewan	Pelacakan jalur migrasi penyu laut di Samudra Hindia
eDNA (<i>Environmental DNA</i>)	Deteksi spesies dari sampel lingkungan (air/tanah)	Identifikasi spesies ikan langka di danau tropis tanpa penangkapan

Kelebihannya menjangkau area luas dan sulit diakses. Menghasilkan data *real-time* dan non-invasif. Keterbatasannya membutuhkan keahlian analisis data tinggi. Biaya perangkat cukup besar.

e. Integrasi Multimetode

Dalam praktik modern, ekologi hewan tidak hanya mengandalkan satu metode. Pendekatan yang paling efektif adalah *integratif (multimetode)* yaitu menggabungkan observasi, eksperimen, dan pemodelan berbasis teknologi. *Contoh Integratif:* Penelitian perilaku *orangutan Kalimantan* menggabungkan a. *Observasi langsung* untuk perilaku sosial, b. *GPS tracking* untuk pergerakan spasial, dan c. *Analisis eDNA* untuk mendeteksi keberadaan di area yang tidak terpantau. Pendekatan integratif semacam ini menghasilkan pemahaman yang lebih ***komprehensif dan realistis*** terhadap dinamika ekologi hewan.

Pendekatan metodologis dalam ekologi hewan mencerminkan evolusi ilmu dari *pengamatan deskriptif menuju analisis kuantitatif dan teknologi tinggi*. Melalui kombinasi metode tradisional dan modern, ilmuwan mampu 1. Mendeteksi pola dan proses ekologis dengan lebih akurat, 2. Mengembangkan model prediktif perubahan ekosistem, dan 3. Menyusun strategi konservasi berbasis bukti ilmiah. Metodologi yang kuat adalah *fondasi utama bagi kebijakan konservasi dan pengelolaan satwa liar yang berkelanjutan*.



Gambar 1. 7 Pendekatan Metodologis Dalam Studi Ekologi Hewan

1.5.3 Pendekatan Teknologi dan Modern dalam Ekologi Hewan

Perkembangan teknologi informasi, sensorik, dan analitik telah *merevolusi cara ilmuwan mempelajari hewan di alam*. Ekologi hewan kini memasuki era "***Digital Ecology***", di mana data besar (*big data*), penginderaan jauh, dan kecerdasan buatan (AI) digunakan untuk memahami *pola perilaku, distribusi, dan dinamika populasi satwa liar* (Turner *et al.*, 2015). Pendekatan teknologi dan modern memungkinkan *pemantauan hewan secara non-invasif*, mempercepat pengumpulan data, serta meningkatkan ***akurasi prediksi ekologi*** dalam menghadapi perubahan global seperti deforestasi dan perubahan iklim.

a. Penginderaan Jauh (*Remote Sensing*)

Remote sensing adalah teknik pengumpulan data dari jarak jauh menggunakan *satelit, drone, atau pesawat tanpa awak* untuk memantau kondisi habitat dan lingkungan hewan. Digunakan untuk memetakan distribusi dan perubahan habitat hewan secara spasial. Fungsi utama: 1. Menganalisis *perubahan tutupan lahan dan vegetasi*. 2. Memetakan *perubahan habitat alami dan fragmentasi ekosistem*. 3. Mengukur *parameter lingkungan* seperti suhu permukaan, kelembapan, dan indeks vegetasi (NDVI). Contoh a. Satelit *Landsat dan MODIS* digunakan untuk memantau degradasi *habitat orangutan di Kalimantan*. b. *Drone multispektral* memetakan sarang burung laut di pulau terpencil. c. Citra satelit mendeteksi *perubahan suhu laut* yang memicu migrasi paus bungkuk di Samudra Hindia. d. *Analisis peta migrasi gajah sumatra* berdasarkan tutupan hutan dan fragmentasi habitat.

Kelebihannya menjangkau area luas dan sulit diakses. Data kontinu dan bersifat historis (*time-series*). Keterbatasannya membutuhkan keterampilan analisis spasial (GIS/RS). Resolusi spasial terbatas untuk hewan kecil.

b. Sistem Informasi Geografis (*Geographic Information System – GIS*)

Geographic Information System (GIS) digunakan untuk mengintegrasikan data spasial (peta) dengan data ekologis hewan guna menganalisis hubungan antara ***distribusi, habitat, dan faktor lingkungan***. Fungsi: 1. Pemetaan sebaran dan kepadatan hewan. 2. Analisis kesesuaian habitat (*habitat suitability modeling*). 3. Perencanaan kawasan konservasi berbasis data spasial. Contoh: a. Pemetaan *jalur migrasi gajah Sumatera* menggunakan data GPS dan tutupan hutan. b. Analisis *zona risiko konflik manusia–macan tutul* di Jawa Barat. c. Penentuan *kawasan inti konservasi penyu* berdasarkan data sarang dan suhu pantai.

Kelebihannya visualisasi spasial yang informatif. Mendukung pengambilan keputusan konservasi. Keterbatasannya bergantung pada ketersediaan data akurat. Analisis memerlukan software khusus (ArcGIS, QGIS).

c. Telemetry Satelit dan GPS Tracking

Telemetry satelit dan GPS tracking digunakan untuk ***melacak pergerakan, migrasi, dan perilaku ruang (spatial ecology)*** hewan secara *real-time*. *Prinsipnya*: perangkat kecil dipasang pada hewan (*collar, tag, atau implant*) yang mengirimkan koordinat posisi ke satelit atau server darat. Contoh: 1. *Penyu hijau* di Samudra Hindia dipantau

menggunakan *GPS tag* untuk memetakan jalur migrasi antar negara. 2. *Harimau Sumatera* dilengkapi *radio collar* untuk memantau wilayah jelajahnya dan menghindari konflik manusia-satwa. 3. *Elang Jawa* dipasang pelacak satelit untuk mempelajari perilaku terbang dan area berburu.

Kelebihannya data *spasial real-time* dan akurat. Memungkinkan analisis perilaku dan penggunaan ruang. Keterbatasannya perangkat mahal dan kadang berat untuk hewan kecil. Risiko kehilangan perangkat di alam.

d. Molekuler dan Environmental DNA (eDNA)

Pendekatan **eDNA** mendeteksi keberadaan spesies melalui **jejak genetik** yang ditinggalkan hewan dalam air, tanah, atau udara (Thomsen & Willerslev, 2015). Teknik DNA lingkungan mendeteksi keberadaan spesies tanpa harus menangkap individunya. Prinsipnya: Hewan meninggalkan fragmen DNA melalui sel, kulit, kotoran, atau lendir di lingkungan. Fragmen tersebut diambil dan dianalisis menggunakan teknik PCR dan sekuensing genetik. Contoh 1. Deteksi *ikan endemik Danau Poso* tanpa harus menangkapnya. 2. Monitoring *katak langka di hutan hujan Papua* melalui sampel air kolam alami. 3. Pendeteksian *mamalia besar* di sungai tropis dengan teknik *metabarcoding*. 4. Deteksi *ikan arwana super red* di habitat Kalimantan melalui analisis DNA air sungai.

Kelebihannya *Non-invasif* (tidak mengganggu satwa). Efisien untuk spesies langka atau sulit diamati. Keterbatasannya DNA cepat terdegradasi oleh faktor lingkungan. Tidak memberikan informasi jumlah individu.

e. Bioakustik dan Sensor Otomatis (Telemetry)

Bioakustik monitoring menggunakan mikrofon atau sensor akustik untuk *mendeteksi suara hewan* sebagai indikator keberadaan dan aktivitas biologis. Digunakan untuk memantau aktivitas dan komunikasi satwa liar. Contoh: 1. Mendeteksi *populasi paus biru* di Samudra Hindia berdasarkan rekaman suara menggunakan hidrofons di bawah laut. 2. Monitoring *aktivitas kelelawar nokturnal* dengan detektor ultrasonik. 3. Identifikasi *burung endemik* dari nyanyian spesifiknya di hutan tropis. Selain suara, *sensor otomatis* seperti *camera trap* dan *thermal imaging* juga digunakan untuk pemantauan satwa di habitat alami. Kelebihannya *non-invasif* dan bisa bekerja 24 jam. Cocok untuk hewan nokturnal dan pemalu. Keterbatasannya data besar memerlukan analisis dengan AI. Sensitif terhadap gangguan cuaca dan kebisingan.

f. Kecerdasan Buatan (AI), Pemodelan Komputer dan Big Data Ekologi

Kecerdasan buatan digunakan untuk *menganalisis data ekologi berskala besar*, seperti gambar satelit, suara, atau hasil sensor otomatis. Dengan algoritma *machine learning*, AI dapat mengenali spesies, menghitung populasi, hingga memprediksi pola migrasi, perubahan populasi atau habitat (Christin *et al.*, 2019). Contoh: 1. AI mengidentifikasi *spesies burung* dari suara otomatis ribuan jam rekaman. 2. *Deep learning* digunakan untuk *mendeteksi harimau* dari jutaan foto kamera jebak. 3. Model prediksi AI memperkirakan *perubahan distribusi ikan* akibat pemanasan laut. 4. Model AI untuk *memperkirakan populasi* orangutan berdasarkan data kamera *trap* dan vegetasi satelit. Kelebihannya analisis cepat dan akurat untuk *big*

data. Mendukung konservasi adaptif dan prediktif. Keterbatasannya memerlukan dataset besar untuk pelatihan algoritma. Interpretasi hasil tetap memerlukan ahli ekologi.

Pendekatan teknologi dan modern telah *mengubah paradigma penelitian ekologi hewan* dari observasi terbatas menjadi ***pemantauan global berbasis data digital***. Teknologi seperti *remote sensing*, *GPS*, *eDNA*, dan *AI* memungkinkan peneliti: a. Mendeteksi perubahan ekologi lebih cepat, b. Melacak satwa liar tanpa gangguan, dan c. Menghasilkan kebijakan konservasi berbasis bukti ilmiah (*evidence-based conservation*). ***Ekologi hewan kini berada di persimpangan biologi, teknologi, dan data science***, menjadikannya disiplin yang semakin strategis untuk menjawab tantangan lingkungan abad ke-21.

1.5.4 Pendekatan Integratif (Interdisipliner)

Pendekatan *integratif (interdisipliner)* dalam ekologi hewan menekankan kolaborasi antara berbagai disiplin ilmu untuk memahami hubungan kompleks antara hewan dan lingkungannya. Ekologi hewan tidak dapat berdiri sendiri; ia *beririsan dengan berbagai disiplin ilmu lain*, seperti: a. *Genetika dan Biologi Molekuler*; memahami dasar genetik adaptasi. b. *Klimatologi*; menilai pengaruh iklim terhadap migrasi fauna. c. *Sosiologi dan Ekonomi*; memahami interaksi manusia-satwa dalam konservasi. dan d. *Teknologi Informasi*; mengelola *big data* biodiversitas dan sistem pemantauan ekosistem. Oleh karena itu untuk pemahaman yang menyeluruh memerlukan kontribusi dari ***biologi molekuler, fisiologi, klimatologi, geografi, perilaku, dan bahkan ilmu sosial*** (Begon, *et al.*, 2006). Pendekatan ini melihat ekosistem sebagai ***jaringan interaksi multi-level*** — mulai dari molekul hingga

ekosistem global — di mana faktor-faktor fisik, kimia, biologis, dan sosial saling mempengaruhi, sebagaimana Tabel 1.9.

Tabel 1. 9 Bidang Ilmu yang Terintegrasi

Bidang Ilmu	Kontribusi dalam Ekologi Hewan
Genetika & Biologi Molekuler	Menjelaskan dasar genetik adaptasi dan variasi populasi hewan.
Fisiologi Hewan	Memahami respon fisiologis terhadap faktor lingkungan (suhu, air, pH, dll).
Etologi (Ilmu Perilaku)	Menjelaskan strategi perilaku dalam mencari makan, kawin, dan menghindari predator.
Klimatologi & Geografi	Menganalisis pengaruh iklim dan distribusi spasial habitat.
Teknologi Informasi & Remote Sensing	Monitoring habitat dan migrasi hewan menggunakan citra satelit dan GPS.
Ilmu Sosial & Ekonomi Lingkungan	Memahami dampak aktivitas manusia terhadap populasi dan konservasi satwa.

Contoh Penerapan: 1. *Konservasi Gajah di Sumatera*: Pendekatan integratif digunakan untuk memahami konflik manusia-gajah dengan menggabungkan *data ekologi (jalur migrasi)*, *sosial-ekonomi (pola penggunaan lahan)*, dan *teknologi GIS* (Kuswanda, 2015). 2. *Pemantauan Migrasi Burung Pantai di Asia Tenggara*: menggunakan *telemetri satelit (teknologi)*, *analisis iklim global (meteorologi)*, dan *model populasi (ekologi)* untuk

mengidentifikasi jalur migrasi dan area penting konservasi (Yong *et al.*, 2020). 3. *Penelitian Ekofisiologi pada Ikan Tropis: Menggabungkan fisiologi, biokimia, dan ekologi perairan* untuk memahami respon adaptif terhadap perubahan suhu akibat pemanasan global (Pörtner & Farrell, 2008). *Contoh: Proyek “One Health”* menggabungkan ekologi satwa liar, kesehatan manusia, dan lingkungan untuk mencegah zoonosis (mis. COVID-19, rabies, dan flu burung). Manfaat Pendekatan Integratif a. Memberikan *gambaran holistik* tentang hubungan hewan–lingkungan. b. Meningkatkan *efektivitas konservasi dan manajemen satwa liar*. c. Menghasilkan *kebijakan berbasis bukti (evidence-based policy)* yang mempertimbangkan aspek ekologis, sosial, dan ekonomi. d. Mendorong *inovasi teknologi ekologi*, seperti pemodelan ekosistem dan bioindeks digital. Contoh studi kasus nyata:

Tabel 1. 10 Contoh Studi Kasus Nyata

Lokasi	Spesies	Pendekatan	Hasil
Taman Nasional Komodo	Komodo (<i>Varanus komodoensis</i>)	Telemetry dan pengamatan perilaku	Pola jelajah dan pemilihan habitat komodo
Taman Nasional Way Kambas	Gajah Sumatra (<i>Elephas maximus sumatranus</i>)	GIS & Model Habitat	Identifikasi koridor ekologis dan area konflik manusia–gajah

Lokasi	Spesies	Pendekatan	Hasil
Laut Jawa	Penyu hijau (<i>Chelonia mydas</i>)	Pemodelan populasi dan eDNA	Estimasi populasi reproduktif dan jalur migrasi
Kalimantan Timur	Orangutan (<i>Pongo pygmaeus morio</i>)	Observasi perilaku dan bioakustik	Pola komunikasi dan adaptasi sosial terhadap deforestasi

1.5.4 Signifikansi Pendekatan Ekologi Hewan

Pemilihan pendekatan yang tepat akan menentukan *kualitas dan relevansi hasil penelitian ekologis*. Melalui kombinasi pendekatan deskriptif, eksperimen, dan teknologi modern, para ahli dapat a. Meningkatkan *efektivitas konservasi spesies langka*, b. Memprediksi *respon fauna terhadap perubahan iklim*, dan c. Menyusun *kebijakan berbasis sains untuk pengelolaan ekosistem*.

a. Makna Signifikansi

Pendekatan dalam ekologi hewan memiliki ***signifikansi ilmiah, ekologis, dan sosial*** yang mendalam. Melalui berbagai pendekatan — biologis, metodologis, teknologi, hingga integratif — ilmuwan dapat memahami ***bagaimana hewan beradaptasi, berinteraksi, dan mempertahankan keseimbangan ekologisnya*** di tengah perubahan lingkungan yang dinamis (Krebs, 2014). Pendekatan ini juga menjadi dasar penting dalam *konservasi*

biodiversitas, pengelolaan habitat, serta mitigasi konflik antara manusia dan satwa liar. Dengan memahami prinsip ekologi hewan secara menyeluruh, manusia dapat membuat keputusan lingkungan yang lebih berkelanjutan.

b. Signifikansi Ilmiah dan Ekologis

1. *Pemahaman Holistik tentang Kehidupan Hewan.* Pendekatan ekologi membantu menjelaskan hubungan antara **faktor genetik, fisiologis, perilaku, dan lingkungan** yang membentuk pola kehidupan hewan. Misalnya, studi pada penguin Antartika mengungkap bagaimana perubahan suhu laut memengaruhi *strategi reproduksi dan migrasi* (Clucas *et al.*, 2014).
2. *Dasar Analisis Populasi dan Komunitas.* Melalui model dan pengamatan ekologi, ilmuwan dapat mengidentifikasi **fluktuasi populasi dan struktur komunitas** yang menentukan kestabilan ekosistem. Pendekatan ini penting dalam memprediksi dinamika spesies invasif atau kepunahan lokal (Begon *et al.*, 2006).
3. *Kontribusi terhadap Konservasi dan Restorasi Ekosistem.* Pendekatan ekologi hewan memungkinkan penyusunan **strategi konservasi berbasis sains**, seperti restorasi koridor satwa liar atau perancangan taman nasional dengan mempertimbangkan *pola pergerakan dan preferensi habitat hewan* (Soulé & Wilcox, 1980).

c. Signifikansi Sosial dan Praktis

1. *Pengelolaan Sumber Daya Alam Berkelanjutan.* Ekologi hewan memberi dasar ilmiah untuk mengelola **perikanan, perburuan, dan satwa**

liar secara berkelanjutan. Contohnya, penerapan model bioekologi pada perikanan tuna membantu menjaga *stok ikan* agar tidak mengalami penurunan drastis (FAO, 2021).

2. *Mitigasi Konflik Manusia–Satwa*. Pendekatan integratif ekologi membantu mengidentifikasi ***pola ruang gerak satwa besar*** seperti gajah, harimau, atau beruang, sehingga dapat dikembangkan kebijakan mitigasi konflik berbasis data spasial dan perilaku satwa (Kuswanda, 2015).
3. *Adaptasi terhadap Perubahan Iklim Global*. Kajian ekologi hewan berperan dalam memahami bagaimana spesies hewan beradaptasi terhadap ***pergeseran suhu, curah hujan, dan pola musim***, yang penting untuk strategi ***adaptasi dan konservasi iklim*** (Pörtner & Farrell, 2008).

d. Dampak Akademik dan Inovatif

Pendekatan ekologi hewan mendorong ***inovasi lintas disiplin*** seperti:

1. Penggunaan ***AI dan citra satelit*** dalam pemantauan fauna liar.
2. Model prediksi ekosistem berbasis data lingkungan (*ecological modeling*).
3. Pembangunan ***biobank genetik*** untuk konservasi spesies langka.
4. Integrasi ekologi dengan ekonomi lingkungan untuk kebijakan publik.

Dengan demikian, pendekatan ekologi hewan bukan hanya alat ilmiah, tetapi juga **strategi pembangunan berkelanjutan berbasis pengetahuan ekologi**.

1.6 Peranan Ekologi Hewan dalam Kehidupan

Ekologi hewan berperan penting dalam memahami *hubungan timbal balik antara hewan, lingkungan, dan manusia*. Ilmu ini tidak hanya menjelaskan bagaimana hewan bertahan hidup dan beradaptasi, tetapi juga bagaimana keberadaannya **menopang keseimbangan ekosistem** serta berkontribusi pada **kehidupan manusia** secara langsung maupun tidak langsung (Odum, 1971; Krebs, 2014). Dalam konteks modern, peranan ekologi hewan semakin strategis dalam **konservasi keanekaragaman hayati, pengelolaan sumber daya alam, mitigasi perubahan iklim**, serta pembangunan berkelanjutan yang berbasis pada prinsip ekologi.

a. Peranan Ekologi Hewan dalam Ekosistem

1. *Sebagai Pengatur Populasi dan Jaring Makanan*; hewan memainkan peran vital dalam menjaga keseimbangan populasi melalui *rantai dan jaring makanan*. Predator mengontrol populasi herbivora, mencegah ledakan populasi yang dapat merusak vegetasi (Begon *et al.*, 2006). Contoh Populasi singa di savana Afrika menjaga keseimbangan jumlah zebra dan antelop, sehingga padang rumput tetap lestari.
2. *Sebagai Agen Penyerbukan dan Penyebar Biji*; banyak hewan, terutama *serangga, burung, dan mamalia kecil*, berperan dalam membantu proses regenerasi tumbuhan. Contoh Kelelawar mempollinasi bunga durian, lebah membantu

penyerbukan tanaman pertanian, sementara burung pemakan buah menyebarkan biji ke wilayah baru (Kearns *et al.*, 1998).

3. *Sebagai Dekomposer dan Pengurai*; beberapa hewan seperti *serangga tanah, cacing, dan detritivora* berfungsi mempercepat penguraian bahan organik menjadi unsur hara yang penting bagi kesuburan tanah (Odum, 1971).

b. Peranan Ekologi Hewan bagi Manusia

1. *Sumber Pengetahuan dan Pendidikan*; Studi ekologi hewan menjadi *model utama dalam pembelajaran ekologi dan evolusi*, membantu memahami adaptasi, perilaku, dan dinamika populasi di berbagai sistem kehidupan.
2. *Dasar Konservasi dan Pengelolaan Sumber Daya Alam*; Pemahaman tentang ekologi hewan digunakan untuk *merancang taman nasional, kawasan konservasi, dan koridor satwa liar* yang efektif. Contoh: Kajian ekologi harimau Sumatera digunakan untuk menentukan zona jelajah dan habitat penting yang perlu dilindungi (Wibisono & Pusparini, 2010).
3. *Manfaat Ekonomi dan Sosial*; Ekologi hewan mendukung *ekowisata, perikanan berkelanjutan, dan pertanian ramah lingkungan*. Konsep keseimbangan ekosistem digunakan untuk menjaga *produktivitas dan keberlanjutan ekonomi lokal*.
4. *Mitigasi Bencana dan Perubahan Iklim*; beberapa hewan berperan sebagai *bioindikator*, misalnya kupu-kupu dan amfibi yang peka terhadap perubahan suhu dan kelembapan. Studi terhadap pola perilaku dan migrasi satwa juga menjadi

indikator perubahan iklim global (Parmesan & Yohe, 2003).

c. Peranan dalam Pembangunan Berkelanjutan

Ekologi hewan mendukung tercapainya *Sustainable Development Goals (SDGs)*, terutama *Tujuan 13: Penanganan perubahan iklim (melalui pemantauan ekosistem)*. *Tujuan 14 & 15: Kehidupan bawah air dan di darat (konservasi keanekaragaman hayati)*. *Tujuan 17: Kemitraan global untuk menjaga ekosistem lintas batas*. Melalui pendekatan ekologi hewan, manusia dapat membangun sistem pembangunan yang *berbasis keseimbangan ekologis*, bukan eksploitasi sumber daya semata (Chapin *et al.*, 2000).

Secara spesifik peranannya dalam pembangunan berkelanjutan:

1. Ekologi Hewan sebagai Pilar Keberlanjutan

Ekologi hewan memiliki peran strategis dalam mendukung *pembangunan berkelanjutan (sustainable development)* karena menekankan **harmoni antara manusia, hewan, dan lingkungan**. Melalui pendekatan ini, pembangunan tidak hanya berorientasi pada pertumbuhan ekonomi, tetapi juga pada *keseimbangan ekologi dan kelangsungan kehidupan semua makhluk* (Chapin *et al.*, 2000). Prinsip ekologi hewan membantu manusia memahami bahwa setiap spesies memiliki *fungsi ekologis* yang berkontribusi terhadap stabilitas sistem kehidupan — dari pengendalian populasi, penyerbukan, hingga daur hara. Tanpa menjaga keberadaan hewan dan habitatnya, **sustainability ekologis dan ekonomi** akan sulit tercapai (Odum, 1971).

Tabel 1. 11 Relevansi Ekologi Hewan Terhadap Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs)

Tujuan SDGs	Kontribusi Ekologi Hewan	Contoh Aplikasi
SDG 13: Penanganan Perubahan Iklim	Studi migrasi, distribusi, dan perilaku hewan sebagai indikator perubahan iklim.	Pengamatan pola migrasi burung Arktik untuk memantau kenaikan suhu global (Parmesan & Yohe, 2003).
SDG 14: Ekosistem Laut (<i>Life Below Water</i>)	Menentukan kuota tangkapan lestari dan menjaga keseimbangan populasi ikan.	Model ekologi diterapkan untuk pengelolaan stok tuna dan kerapu di perairan tropis (FAO, 2021).
SDG 15: Ekosistem Darat (<i>Life on Land</i>)	Konservasi satwa liar dan restorasi habitat alami.	Rehabilitasi koridor gajah dan harimau di Sumatera untuk mencegah fragmentasi habitat (Wibisono & Pusparini, 2010).

Pendekatan ekologi hewan membantu menghubungkan ketiga tujuan ini melalui **manajemen berbasis ekosistem**, yang memperhatikan interaksi lintas spesies dan batas geografis.

2. Kontribusi terhadap Keberlanjutan Ekonomi dan Sosial

- a. *Ekowisata Berbasis Satwa Liar*; Studi ekologi hewan digunakan untuk merancang *zona wisata konservatif* yang tidak mengganggu habitat satwa, tetapi memberikan manfaat ekonomi kepada masyarakat. Contoh Ekowisata pengamatan orangutan di Tanjung Puting yang berbasis konservasi komunitas lokal.
- b. *Pengelolaan Sumber Daya Hayati*; Pemahaman ekologi populasi membantu menentukan *batas pemanfaatan lestari* dalam perikanan, perburuan, dan peternakan liar agar tidak melebihi daya dukung ekosistem (Begon *et al.*, 2006).
- c. *Ketahanan Ekosistem terhadap Gangguan*; Pengetahuan tentang *resiliensi dan suksesi ekologis* membantu masyarakat merestorasi lingkungan setelah gangguan (seperti kebakaran hutan atau pencemaran) agar dapat kembali produktif tanpa kehilangan biodiversitas (Chapin *et al.*, 2000).

3. Pendekatan Ekologi Hewan dalam Kebijakan dan Perencanaan

Ekologi hewan berperan sebagai **landasan ilmiah** dalam kebijakan publik terkait: a. Penataan ruang berbasis konservasi satwa liar. b. Penentuan *area kunci keanekaragaman hayati* (*Key Biodiversity Areas*), dan c. Penyusunan *strategi nasional adaptasi perubahan iklim* (*NDCs*). Melalui penerapan data ekologis, pemerintah dan lembaga konservasi dapat mengambil *keputusan berbasis bukti* (*evidence-based policy*) untuk mengelola lingkungan hidup dan sumber daya hayati secara bijak.

1.7 Contoh Studi Kasus Ekologi Hewan di Indonesia

Ekologi hewan di Indonesia menjadi bidang yang sangat penting karena negara ini termasuk salah satu ***megadiversity country*** dengan keanekaragaman hayati yang sangat tinggi. Setiap pulau memiliki komposisi fauna yang unik akibat isolasi geografis dan perbedaan ekosistem. Studi kasus ekologi hewan di Indonesia mencakup berbagai aspek mulai dari interaksi antarspesies, adaptasi terhadap lingkungan ekstrem, hingga pengelolaan populasi untuk konservasi.

a. Studi Kasus 1 — Ekologi Orangutan Kalimantan (*Pongo pygmaeus*)

1. *Latar Belakang*; Orangutan Kalimantan merupakan satwa endemik yang hidup di hutan hujan tropis dataran rendah. Populasinya menurun drastis akibat deforestasi dan fragmentasi habitat untuk perkebunan kelapa sawit (Meijaard *et al.*, 2017).
2. *Fokus Ekologis*: a). *Interaksi*: Hubungan antara orangutan dan pohon penghasil buah (misalnya *Ficus* sp.). b). *Adaptasi*: Kemampuan berpindah di kanopi hutan serta penggunaan daun sebagai pelindung hujan. c). *Dinamika Populasi*: Penurunan populasi $\pm 2,5\%$ per tahun (IUCN, 2023).
3. *Hasil Penelitian*; Studi ekologi menunjukkan bahwa koridor hutan alami sangat penting untuk mempertahankan konektivitas populasi (Ancrenaz *et al.*, 2021). Upaya konservasi berbasis ekologi telah diterapkan melalui restorasi habitat dan reintroduksi individu di Taman Nasional Sebangau.

b. Studi Kasus 2 — Migrasi Penyu Hijau di Kepulauan Derawan, Kalimantan Timur

1. *Latar Belakang*; Penyu hijau (*Chelonia mydas*) bermigrasi ribuan kilometer antara lokasi makan di

Australia dan lokasi bertelur di Derawan, Indonesia (Hamann *et al.*, 2020).

2. *Fokus Ekologis:* a). *Interaksi:* Hubungan dengan predator alami dan aktivitas manusia di pesisir. b). *Adaptasi:* Navigasi menggunakan medan magnet bumi untuk kembali ke lokasi peneluran. c). *Dinamika Populasi:* Jumlah peneluran meningkat di Pulau Sangalaki sejak diberlakukan perlindungan ekosistem pesisir.
 3. *Hasil Penelitian;* Monitoring satelit menunjukkan bahwa rute migrasi penyu melewati area perikanan aktif, sehingga diperlukan kolaborasi regional dalam konservasi lintas batas (WWF Indonesia, 2022).
- c. **Studi Kasus 3** — Harimau Sumatera (*Panthera tigris sumatrae*).
1. *Latar Belakang;* Harimau Sumatera adalah subspecies harimau terakhir di Indonesia. Habitatnya terfragmentasi oleh konversi hutan dan pembangunan infrastruktur.
 2. *Fokus Ekologis:* a). *Interaksi:* Predator puncak yang mengontrol populasi herbivora besar seperti rusa dan babi hutan. b). *Adaptasi:* Pola belang tubuh membantu kamuflase di bawah kanopi hutan tropis. c). *Dinamika Populasi:* Diperkirakan tersisa hanya ± 400 individu di alam liar (Wibisono *et al.*, 2020).
 3. *Hasil Penelitian;* Pendekatan *camera trapping* dan *spatial ecology* digunakan untuk memetakan wilayah jelajah. Data ini digunakan dalam perencanaan koridor ekologis di Sumatera bagian tengah (Linkie *et al.*, 2018).

d. Studi Kasus 4 — Perubahan Perilaku Satwa di Taman Nasional Komodo.

1. *Latar Belakang*; Komodo (*Varanus komodoensis*) merupakan predator puncak di ekosistem pulau kering. Aktivitas wisata dan perubahan iklim memengaruhi perilaku dan kesehatan populasinya.
2. *Fokus Ekologis*: a). *Interaksi*: Komodo sebagai pengatur populasi herbivora kecil. b). *Adaptasi*: Toleransi terhadap suhu tinggi dan kemampuan mendeteksi bangkai dari jarak jauh. c). *Dinamika Populasi*: Stabil di Pulau Komodo, namun menurun di Pulau Padar karena gangguan manusia.
3. *Hasil Penelitian*; Pemantauan oleh LIPI dan Kementerian KLHK menunjukkan perubahan pola aktivitas harian akibat peningkatan suhu permukaan hingga 2°C (Putra *et al.*, 2021).

Studi kasus di atas menunjukkan bahwa **ekologi hewan di Indonesia sangat kompleks** dan menuntut pendekatan multidisipliner. Pemahaman interaksi dan adaptasi hewan sangat penting untuk menyusun strategi konservasi yang berkelanjutan serta memastikan keseimbangan ekosistem alami tetap terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Allan, J. D., Smith, S. P., & Williams, D. D. 2022. *Ecological Methods in Animal Research*. Springer Nature.
- Ancrenaz, M., Meijaard, E., Ambu, L., Lackman-Ancrenaz, I., Ahmad, E., & Goossens, B. 2021. Ecology and conservation of Bornean orangutans in fragmented forests. *Conservation Science and Practice*. 3(6): e384.
- Begon, M., Townsend, C.R., and Harper, J.L. 2006. *Ecology: From Individuals to Ecosystems*. 4th edition. Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Begon, M., Townsend, C.R., and Harper, J.L. 2021. *Ecology: From Individuals to Ecosystems*. 5th edition. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.
- BirdLife International. 2022. *State of the World's Birds Report*. BirdLife International.
- Capra, F. 1996. *The Web of Life: A New Scientific Understanding of Living Systems*. Anchor Books.
- Chapin, F.S., Zavaleta, E.S., Eviner, V.T., Naylor, R.L., Vitousek, P.M., Reynolds, H.L., Hooper, D.U., Lavorel, S., Sala, O.E., Hobbie, S.E., Mack, M.C., and Díaz, S. 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature*. 405: 234–242.
- Christin, S., Hervet, É., and Lecomte, N. 2019. Applications for deep learning in ecology. *Methods in Ecology and Evolution*. 10(10): 1632–1644.
- Clucas, G.V., Dunn, M.J., Dyke, G., Emslie, S.D., and Levy, H. 2014. Population trends of Adélie penguins and their relation to environmental change. *Ecology Letters*. 17(7): 810–819.
- Elton, C. 1927. *Animal Ecology*. Macmillan.

- FAO. 2022. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. Food and Agriculture Organization.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2021. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2021: Blue Transformation*. Rome, Italy: FAO.
- Gotelli, N. J. 2015. *A Primer of Ecology* (5th ed.). Sinauer Associates.
- Hamann, M., Limpus, C.J., Hughes, G., Mortimer, J.A., and Pilcher, N. 2020. Migratory connectivity of green turtles in Southeast Asia. *Marine Ecology Progress Series*. 650: 159–170.
- Kearns, C.A., Inouye, D.W., and Waser, N.M. 1998. Endangered mutualisms: The conservation of plant–pollinator interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 29: 83–112.
- Krebs, C. J. 2016. *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance* (7th ed.). Pearson Education.
- Krebs, C.J. 2014. *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. 6th edition. Boston, MA: Pearson Education.
- Kuswanda, W. 2015. Pendekatan ekologi dan sosial dalam mitigasi konflik manusia-gajah di Sumatera. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 12(2): 101–113.
- Lomolino, M. V., Riddle, B. R., Whittaker, R. J., & Brown, J. H. (2017). *Biogeography* (5th ed.). Sinauer Associates.
- Linkie, M., Martyr, D.J., Holden, J., Yanuar, A., Hartana, A.T., Sugardjito, J., and Leader-Williams, N. 2018. Habitat connectivity and tiger conservation in Sumatra. *Journal of Applied Ecology*. 55(2): 833–842.

- Meijaard, E., Wich, S., Husson, S., Ancrenaz, M., and Marshall, A.J. 2017. *Orangutans: Ecology, Evolution, Behavior, and Conservation*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Naess, A. 1989. *Ecology, Community and Lifestyle: Outline of an Ecosophy*. Cambridge University Press.
- Odum, E.P. 1971. *Fundamentals of Ecology*. 3rd edition. Philadelphia, PA: W.B. Saunders Company.
- Odum, E.P., and Barrett, G.W. 2020. *Fundamentals of Ecology*. 6th edition. Boston, MA: Cengage Learning.
- Ostfeld, R. S., Keesing, F., & Evimer, V. T. 2019. *Infectious Disease Ecology: Effects of Ecosystems on Disease and of Disease on Ecosystems*. Princeton University Press.
- Parmesan, C., and Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*. 421(6918): 37–42.
- Pörtner, H.O., and Farrell, A.P. 2008. Physiology and climate change. *Science*. 322(5902): 690–692.
- Putra, R.D., Syamsudin, F., and Rahman, A. 2021. Climate impact on Komodo dragon activity and conservation management. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 22(8): 3451–3459.
- Ricklefs, R.E. 2008. *The Economy of Nature*. 6th edition. New York, NY: W.H. Freeman and Company.
- Soulé, M.E., and Wilcox, B.A. 1980. *Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Thomsen, P.F., and Willerslev, E. 2015. Environmental DNA – An emerging tool in conservation for monitoring past and present biodiversity. *Biological Conservation*. 183: 4–18.

- Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., and Steininger, M. 2015. Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology and Evolution*. 20(11): 306–314.
- Wiens, J.A. 2016. *Ecological Challenges and Conservation in a Changing World*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Wibisono, H.T., and Pusparini, W. 2010. Sumatran tiger (*Panthera tigris sumatrae*): Ecology, conservation, and management. *Biodiversity and Conservation*. 19: 1101–1114.
- Wibisono, H.T., Linkie, M., and Sunarto. 2020. Sumatran tiger population and landscape ecology. *Oryx*. 54(3): 362–373.
- WWF Indonesia. 2023. *Konflik Gajah dan Manusia di Sumatera: Solusi Ekologis untuk Keberlanjutan*. WWF Indonesia Report.
- WWF Indonesia. 2022. *Konservasi Penyu Hijau di Kepulauan Derawan*. Jakarta, Indonesia: WWF Indonesia.
- Yong, D.L., Liu, Y., Low, B.W., Espanola, C.P., Choi, C.Y., and Kawakami, K. 2020. Tracking shorebird migration in the East Asian–Australasian Flyway. *Global Ecology and Conservation*. 24: e01256.

BAB 2

INTERAKSI HEWAN DAN LINGKUNGAN

Oleh I Wayan Suanda

Lingkungan merupakan medium tempat beradanya kehidupan berupa biotik dan abiotik (tidak hidup) juga ada di dalamnya. Keberadaan biotik (dalam tulisan ini lebih menekankan pada hewan) yang ada pada lingkungan selalu mengalami hubungan atau interaksi, yang menyebabkan terbentuk dan tumbuhnya suatu siklus kehidupan di alam. Hubungan hewan dengan lingkungan dipelajari dalam ekologi hewan, dimana hubungan ini dapat dalam bentuk interaksi berupa hubungan timbal balik. Ekologi hewan mempelajari interaksi antar hewan dengan lingkungan sekitarnya, yang menjadi bagian dari ekologi. Ekologi itu sendiri merupakan bagian dari biologi, karena ekologi merupakan cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari rumah atau habitat (Vanya, 2021). Ekologi artinya “ilmu yang mempelajari organisme di tempat tinggalnya”. Jadi ekologi merupakan ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara organisme atau kelompok organisme dengan lingkungannya. Ekologi sebagai studi yang membahas hubungan antara organisme dengan lingkungan, dapat menghadirkan suatu pendekatan kontekstualisme baru. Ekologi hewan merupakan bidang ilmu yang lebih menekankan hubungan hewan dengan lingkungan sebagai habita. Perkembangan lebih lanjut ekologi yang dikaitkan dengan kehidupan manusia dalam suatu lingkungan. Manusia

selalu memiliki nilai penting atas keberadaannya pada lingkungan, karena kedudukan manusia bisa memperbaiki lingkungan maupun sebaliknya dengan cara perbuatan destruktif terhadap lingkungan. Nilai positif yang bisa dilakukan manusia pada lingkungan bisa melalui: menjaga, memelihara, mengelola dan konservasi bahkan menciptakan lingkungan yang memberikan kehidupan bagi makhluk hidup lainnya, yang dikaji dalam ekologi manusia. Ekologi manusia menjadi temuan ilmiah yang memberikan informasi baru lebih modern tentang konsekuensi tindakan manusia dan dampaknya terhadap lingkungan (Borden *et al.*, 1986), maka terbentuklah kajian ekologi manusia. Ekologi manusia merupakan bidang studi yang membahas kajian komprehensif dan kompleks antara manusia, budaya, dan ekosistemnya (Dyball 2010). Jadi dalam ekologi manusia memiliki tujuan untuk menyelidiki jaringan hubungan sebab-akibat yang kompleks antara manusia, aktivitas hidup, sosial, budaya serta ekosistem tempat tinggalnya.

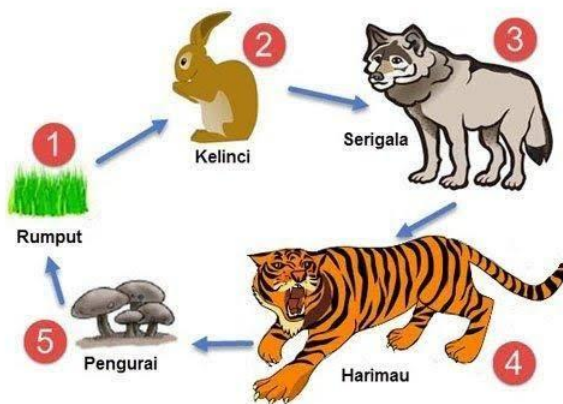
Ilmu yang mempelajari lingkungan sebagai perpaduan konsep dan asas dari berbagai bidang tidak bisa berdiri sendiri. Dari konsep ini berarti mempelajari lingkungan tidak dapat dipisahkan dari ekologi dan biologi (Manik, 2018). Hubungan timbal balik ini sebagai bentuk interaksi antar makhluk hidup (biotik) dengan lingkungan (abiotik) yang ada di dalamnya. Interaksi antara hewan sebagai biotik dan lingkungan menjadi suatu keniscayaan yang terus berproses dan tetap berlangsung. Interaksi hewan dan lingkungan ini merupakan contoh yang terjadi dari suatu kerjasama dan interaksi dari komponen biotik (tumbuhan, hewan, manusia) dengan komponen abiotik (lingkungan). Terjadinya interaksi dari hewan (komponen biotik) dan lingkungan (abiotik) mempunyai tujuan untuk menjaga keberadaannya yang tetap lestari melalui daur energi yang terus mengalir dan akan kembali lagi, sehingga saling membutuhkan baik secara langsung maupun tidak langsung merupakan suatu siklus

kehidupan. Lingkungan alam itu sendiri merupakan tempat makhluk hidup (tumbuhan, hewan termasuk manusia) hidup dan berkembangbiak dengan aktivitas hidup melalui sumber daya masing-masing.

Sumber daya pada hewan memiliki nilai penting untuk berinteraksi dan beradaptasi pada lingkungan yang selalu dikompertisikan melalui berjuang untuk mendapatkannya. Kompetisi dalam kehidupan hewan menjadi semakin ketat sejalan dengan bertambahnya populasi. Populasi yang semakin meningkat disertai aktivitas eksploitasi menjadi peluang terjadinya kompetisi dalam berinteraksi (Utina, 2015). Ketersediaan sumber daya alam yang ada memiliki nilai tinggi dalam kehidupan semua organisme (biotik), karena alam merupakan lingkungan sebagai habitat hewan dalam melangsungkan siklus hidupnya. Setiap hewan hidupnya juga saling ketergantungan dalam spesies yang sama atau dalam satu spesies (intraspesies) dan dari spesies yang berbeda (interspesies), karena keberadaannya sangat memerlukan keberadaan makhluk hidup lain yang menyebabkan terjadinya interaksi. Keberadaan beberapa jenis hewan dalam suatu ekosistem lingkungan dapat memperkuat fungsi lingkungan dan menjadi indikator ketersediaan sumber daya pada lingkungan itu sendiri. Misal keberadaan serangga kupu-kupu dan lebah *Trigona* sp. pada lahan perkebunan buah-buahan atau taman bunga menjadi indikator ada sumber daya alam sebagai daya dukung lingkungan untuk kehidupan organisme (hewan). Hasil penelitian Naim (2019) melaporkan bahwa keberadaan burung dalam hutan kota memiliki pengaruh penting untuk memperkuat fungsi ekologi. Hal ini disebabkan bahwa 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 sebagai ekosistem (Nugroho *et al.*, 2015).

Ketersediaan sumber daya alam yang ada pada lingkungan sekitarnya bermanfaat untuk keberlangsungan hidup bagi hewan, seperti: pertumbuhan, berkembangbiak dan perlindungan. Lingkungan sebagai pembentuk ekosistem, yang tersusun dari komponen biotik, abiotik dan pengurai siklusnya selalu mengalir dan berkelanjutan. Pada komponen biotik meliputi fauna dan flora yang keberadaannya selalu terjadi interaksi. Interaksi yang terjadi antara makhluk hidup yang sejenis atau interaksi intraspesies (intraspesifik) maupun interaksi dari banyak jenis (lebih dari satu jenis) atau interaksi interspesies (interspesifik), dapat memunculkan terjadinya siklus rantai makanan (Gambar k.1). Rantai makanan adalah suatu proses makan dan dimakan yang terjadi antar makhluk hidup untuk keberlangsungan hidupnya.



Gambar 2. 1 Rantai Makanan

(Sumber: <https://www.google.com/search?q>)

Terbentuknya rantai makanan antar satu kelompok hewan dengan rantai makanan yang terjadi pada kelompok hewan lain, kemudian terjadi rantai makanan antar semua kelompok kehidupan yang kompleksitasnya lebih tinggi, berupa jaring-jaring makanan (Gambar k.2). Jaring-jaring makanan terbentuk sebagai akibat terjadinya interaksi intraspesies (intraspesifik) atau interaksi satu spesies makhluk hidup maupun interaksi dari banyak jenis (lebih dari satu jenis) atau interaksi interspesies (interspesifik), sehingga kompleksitas interaksi menjadi lebih luas dan semakin tinggi.



Gambar 2. 2 Jaring-Jaring Makanan

(Sumber: <https://www.google.com/search?q>)

Aktivitas saling memakan dalam kehidupan tidak terlepas dari interaksi hewan yang ada dalam ekosistem pada lingkungan hidupnya, yang tentu akan disertai oleh biotik lain, yaitu tumbuhan sebagai penyerta utama, yaitu produsen dalam rantai makanan maupun jaring-jaring makanan. Kondisi ini menjadi penting karena kedudukan tumbuhan sebagai penghasil (produsen) dan kelompok hewan sebagai

pengguna (konsumen). Kedudukan komponen-komponen dalam rantai makanan dan jaring-jaring makanan, bila dirunut berdasarkan tropik (tingkatnya) dapat membentuk piramida terbalik. Pada piramida tersebut menggambarkan bahwa tumbuhan sebagai produsen memiliki kedudukan sangat penting, yang dapat digambarkan pada piramida memiliki luas juring atau areal paling besar, diikuti konsumen I (pertama), konsumen II (kedua), konsumen tingkat III (konsumen ketiga) dan seterusnya (Gambar k.3). Rantai makanan dan jaring-jaring makanan yang ada di alam selanjutnya membentuk jaring-jaring kehidupan.



Gambar 2. 3 Piramida

(Sumber: <https://www.google.com/search?q>)

Adanya komponen biotik (hewan dan tumbuhan) dengan abiotik (lingkungan) yang melangsungkan interaksi secara harmonis memberikan keberadaan kehidupan yang seimbang dalam ekosistem di lingkungan. Hewan yang berkedudukan sebagai organisme heterotrof, tidak mampu memproduksi makanan secara sendiri, namun sangat tergantung dari organisme autotrof (tumbuhan). Bahan makanan bersumber dari tumbuh-tumbuhan (organisme

autotrof), memiliki nilai vital bagi organisme heterotrof (hewan). Ketergantungan hewan (heterotrof) kepada tumbuhan (autotrof) menjadi bentuk interaksi yang tidak bisa dihindarkan dan terus berlanjut sepanjang masa. Tumbuhan memiliki kedudukan yang istimewa sebagai trofik pertama (produsen) karena memiliki organela plastida yang tidak ditemukan pada organisme lain. Organela plastida pada tumbuhan mampu menghasilkan kloroplas, dan kloroplas dapat membentuk klorofil. Klorofil yang dimiliki tumbuhan ini mempunyai nilai penting dalam proses kehidupan di alam. Klorofil yang dihasilkan tumbuhan akan bernilai guna sangat tinggi apabila di alam prosesnya didukung faktor abiotik.

Abiotik berupa air (H_2O), karbondioksida (CO_2) dan cahaya matahari (sumber energi utama) membantu klorofil dalam melangsungkan proses fotosintesis. Proses fotosintesis merupakan mekanisme sangat kompleks yang berlangsung di alam untuk mengubah material organik H_2O dan CO_2 menjadi material organik yang lebih kompleks berupa molekul-molekul mengandung rantai atom C (carbon), atom H (hidrogen) dan atom O (oksigen), berupa: karbohidrat, protein dan lemak nabati serta bentuk lainnya yang sangat dibutuhkan hewan dan organisme hidup lain dalam melangsungkan kehidupannya. Sirkulasi materi antara komponen biotik dan abiotik sejalan dengan siklus biogeokimia. Keseimbangan yang berkelanjutan bagi kehidupan di alam dapat berlangsung dengan adanya sirkulasi energi dan materi dalam ekosistem (Freedman, 2013; Swasta, 2019). Sirkulasi energi dari matahari sebagai sumber utama mengalir ke tumbuhan sebagai produsen, selanjutnya mengalir ke hewan sebagai konsumen dan dekomposer berupa mikroorganisme, seperti jamur dan bakteri untuk dijadikan material organik. Material organik didapatkan tumbuhan melalui penyerapan unsur hara dalam bentuk terlarut di dalam tanah atau media tumbuh.

2.1 Interaksi pada Organisme

Organisme yang ada di bumi ini tidak bisa terlepas hidupnya dari organisme lain, tanpa ada interaksi sebagai bentuk saling membutuhkan. Hewan yang merupakan bagian dari organisme selalu membutuhkan makanan untuk kelangsungan hidupnya dan tidak mampu dipenuhi sendiri. Terlebih hewan merupakan kelompok organisme heterotrof, yaitu makhluk hidup yang tidak mampu menghasilkan makanan secara mandiri. Kondisi ini disebabkan karena keterbatasan organisme hewan yang tidak mampu melangsungkan proses fotosintesis seperti organisme autotrof. Autotrof adalah organisme yang memiliki kemampuan membuat makanan sendiri melalui proses fotosintesis, karena memiliki organel plastida. Plastida yang terdapat pada organisme autotrof (tumbuh-tumbuhan) dapat menghasilkan kloroplas dan kloroplas ini aktif memproduksi klorofil. Klorofil yang dimiliki organisme autotrof (tumbuh-tumbuhan) menjadikan kedudukannya sebagai produsen atau penghasil bahan makanan. Tumbuh-tumbuhan dapat melaksanakan proses fotosintesis dengan bantuan klorofil yang dimiliki, sehingga mampu mengubah material organik menjadi molekul karbohidrat, protein dan lemak nabati serta senyawa lain yang telah tersedia untuk kebutuhan hidup organisme heterotrof (hewan). Keterbatasan organisme heterotrof (hewan) menjadi kendala dalam pemenuhan sumber nutrisi/makanan untuk kelangsungan hidupnya, sehingga terbentuklah interaksi. Interaksi merupakan bentuk hubungan antara makhluk hidup dalam satu spesies maupun dengan beberapa spesies lainnya. Interaksi antar organisme ini dapat membentuk jalinan hubungan yang disebut simbiosis. Simbiosis antar organisme dapat membentuk suatu interaksi, yaitu: intraspesies dan interspesies.

2.1.1 Interaksi Intraspecies

Interaksi intraspecies sering disebut interaksi intraspesifik, yaitu hubungan atau interaksi pada organisme yang berasal dari satu spesies. Interaksi intraspecies ini ditemukan pada kelompok organisme atau hewan peternakan yang dipelihara dalam satu kandang, misalnya: peternakan ayam, itik/bebek, burung, sapi, kambing dan domba serta peternakan hewan satu spesies lainnya. Hewan ternak ini umumnya ditempatkan pada suatu kandang, sehingga ada kandang ternak ayam, kandang ternak burung, kandang ternak sapi, kandang ternak domba dan lainnya. Keberadaan hewan-hewan sejenis dalam satu kandang ini dapat membentuk interaksi antar sesamanya dalam suatu habitat. Interaksi yang dilakukan dapat berupa hubungan kerjasama dinamakan simbiosis. Simbiosis yang terjalin bisa berbentuk hubungan positif dan positif, dinamakan simbiosis mutualisme; hubungan positif dan negatif, sering disebut simbiosis parasitisme; hubungan positif dan netral, dinamakan simbiosis komensalisme; serta hubungan netral dan netral, populer dijuluki simbiosis netralisme. Simbiosis parasitisme membentuk mekanisme kerja berupa kompetisi atau persaingan dan sering juga cara kerjanya bersifat antagonis. Dalam kompetisi ini ada pihak organisme yang mendapat manfaat (keuntungan) dan ditemukan organisme lain sebagai pihak yang dirugikan. Dari kompetisi ini ada yang bersifat parasit atau parasitoid dan ada yang bersifat predator, dengan perilaku yang dimiliki masing-masing berbeda.

2.1.2 Interaksi Interspecies

Interaksi interspecies memiliki sinonim interspesifik adalah hubungan organisme dari spesies yang berbeda. Pada interaksi interspecies ini bisa terjadi

antara dua spesies, tiga spesies atau banyak spesies dalam suatu habitat di lingkungan. Interaksi interspesies sering ditemukan pada pengembalaan sapi di areal persawahan yang luas. Hewan sapi mencari makan rumput-rumputan, kerbau juga mencari makan rumput-rumputan, kambing juga mencari makan rumput-rumputan. Begitu pula hewan lain seperti ayam, burung, kadal juga mencari makan disekitar lingkungan tersebut. Keberadaan beberapa spesies hewan yang saling berinteraksi ini di dalam suatu habitat termasuk interaksi interspesies. Dalam interaksi interspesies ini akan terbentuk hubungan kerjasama berupa simbiosis mutualisme, parasitisme, komensalisme dan netralisme (seperti pada interaksi intraspesies). Bila beberapa spesies hewan hanya mencari makan untuk dirinya tanpa mengusik/mengganggu spesies hewan lain maka terjadi simbiosis netralisme. Sebaliknya simbiosis parasitisme dapat berbentuk persaingan atau kompetisi. Kompetisi ini terjadi karena adanya perebutan sumber daya, seperti: sumber daya makanan, ruang tempat hidup, tempat berlindung, mencari lawan jenis sebagai pasangan dan sumber daya untuk memperbanyak diri (reproduksi). Jadi organisme (hewan) yang berkompetisi bisa terjadi dengan organisme biotik, seperti: hewan satu spesies dan hewan spesies berbeda. Disamping itu kompetisi juga terjadi antara organisme biotik dengan abiotik (lingkungan), misalnya: mempertahankan diri dari temperatur ekstrim, iklim yang tidak bersahabat, sumber makanan semakin menipis dan tempat sebagai ruang untuk hidup semakin menyempit, adanya musuh-musuh yang mengganggu/pemangsa serta kondisi yang tidak menguntungkan bagi kehidupan hewan itu. Kondisi tercekam ini dapat memunculkan beberapa reaksi yang diperlihatkan oleh hewan, seperti: migrasi dan adaptasi.

2.2 Simbiosis

Simbiosis merupakan hubungan antar makhluk hidup (biotik) yang merupakan aspek fundamental dalam ekologi. Ekologi mengkaji hubungan antara makhluk hidup dengan lingkungannya, sedangkan ekologi hewan mengkaji hubungan hewan dengan lingkungan, hubungan ini dikenal dengan simbiosis. Simbiosis, menjadi suatu interaksi jangka panjang antar dua organisme (hewan) dari beberapa spesies yang keberadaan hidupnya dalam suatu ekosistem. Keberadaan organisme di alam tidak bisa sendirian, melainkan saling ketergantungan. Interaksi antar makhluk hidup dapat berupa: saling menguntungkan, netral, atau bahkan merugikan antar organisme dalam ekosistem. Simbiosis memegang peran penting dalam pembentukan struktur, fungsi, dan stabilitas ekosistem, karena dapat mempengaruhi kelangsungan hidup, pertumbuhan, dan reproduksi organisme (hewan) di dalamnya (Arum & Sari, 2025). Pemahaman tentang konsep simbiosis mempunyai nilai tinggi dalam bidang biologi untuk mendapatkan informasi lebih lengkap tentang dinamika ekosistem serta hubungannya dengan keseimbangan lingkungan.

Simbiosis terbentuk karena adanya interaksi antara organisme yang tidak dapat hidup sendiri, sehingga saling membutuhkan dan berinteraksi untuk bertahan hidup dan mempertahankan kehidupan spesiesnya. Interaksi antar makhluk hidup dengan makhluk hidup (biotik dengan biotik lainnya) atau makhluk hidup dengan lingkungan (biotik dengan abiotik) merupakan suatu keniscayaan yang menjadi aspek fundamental dalam ekologi. Hubungan hewan dengan lingkungan bila dapat dijaga dan masih dalam toleransi, maka hewan dapat melangsungkan hidup untuk tumbuh dan berkembangbiak. Namun bila kondisi lingkungan yang ekstrem dengan cekaman dasyat sehingga makhluk hidup (hewan) tidak mampu bertahan, maka terjadilah proses seleksi alam sebagai faktor pembatas. Faktor pembatas dapat

berlangsung pada setiap makhluk hidup bila sudah berada di atas batas ambang toleransi yang perlu ditanggapi makhluk hidup sebagai upaya mempertahankan diri, seperti: migrasi dan adaptasi. Oleh karena itu adaptasi dengan lingkungan merupakan bentuk menjaga ketahanan keberlangsungan hidup melalui bentuk simbiosis hewan dengan tempat tinggalnya. Dalam rentang toleransi tersebut ditemukan rentang yang memberikan kehidupan bagi hewan dalam kisaran optimum yang mampu diakomodasi melalui proses fisiologi dari perubahan karakteristik lingkungan. Kemampuan hewan atau makhluk hidup bertahan hidup dalam rentang toleransi dengan beradaptasi sebagai respon hewan terhadap aksi yang muncul dari lingkungan. Adaptasi pada hewan dalam waktu lama dapat memunculkan terjadinya perubahan kisaran toleransi, kondisi ini dinamakan aklimasi.

Simbiosis merupakan bentuk kerjasama antara beberapa organisme makhluk dalam habitat lingkungan hidup. Dalam simbiosis dapat berlangsung interaksi dari beberapa spesies (Manggalar & Winarno 2022). Terbentuknya interaksi antara beberapa spesies hewan dengan makhluk hidup lain dalam suatu ekosistem dapat menciptakan simbiosis dalam beberapa bentuk. Interaksi yang terjadi ini memberikan peluang terbentuknya berjenis-jenis simbiosis, diantaranya: simbiosis mutualisme, komensalisme, parasitisme dengan karakter masing-masing (Jurnal Bioterdidik, 2023). Dari bentuk simbiosis ini dapat diketahui pada suatu habitat dalam kondisi ekologis, seperti: hubungan jamur Mikoriza dengan tumbuhan inang (umumnya tanaman jagung), interaksi serangga lebah dan kupu-kupu dengan sumber pakan penghasil nektar serta interaksi hewan golongan herbivora dan jenis rumput maupun dedaunan. Lingkungan memiliki karakteristik, seperti: suhu, kelembaban, sumber pakan bagi serangga, ketersediaan makanan, ketersediaan tempat tinggal dan

sebagainya, pada umumnya kondisinya beragam (Isnaini *et al.*, 2025). Karakter bervariasi yang terdapat dalam lingkungan berdampak pada karakter hewan atau makhluk hidup yang menghuni didalamnya. Kondisi ini dapat ditemukan pada ternak sapi yang hidup dalam kandang, diberikan pakan ampas tahu dicampur dedak dan kulit pisang hasil dari limbah pedagang pisang goreng dan molen atau sumber pakan lain sebagai pengganti pakan dari jenis rumput, maka sapi yang dipelihara dalam kandang tersebut merespon dengan melakukan adaptasi terhadap pakan yang tersedia. Hal ini bisa dirasakan juga pada madu yang dihasilkan serangga lebah *Trigona* sp. pada lingkungan yang memiliki sumber pakan berupa tanaman kopi, tanaman cengkeh, tanaman kakao, tanaman durian, bunga kaliandra, bunga airmata pengantin dan sumber pakan dari suatu tanaman lain memberikan cita rasa madu berbeda. Ini menunjukkan bahwa keberadaan hewan pada lingkungan yang memiliki sumber pakan berbeda dapat menghasilkan suatu produk, misalnya madu dengan citarasa yang berbeda berdasarkan jenis sumber pakan yang tersedia di lingkungan tempat hidupnya. Citarasa kopi yang dipetik langsung di pohon dengan citarasa kopi yang dihasilkan melalui metabolisme dalam tubuh hewan luwak yang dikenal dengan “kopi luwak” menjadi lebih ngetren/populer.

Studi tentang simbiosis sangat relevan dikaji sebagai pengembangan penelitian ilmiah maupun dalam konteks pendidikan sains, karena kajian tidak hanya dalam bentuk interaksi biologis antar organisme, namun penting dalam memahami dinamika ekosistem, stabilitas lingkungan, dan respons organisme terhadap kondisi dinamika ekologi. Dalam pembahasan simbiosis dapat ditemukan suatu upaya menjaga keseimbangan ekosistem dan pelestarian keanekaragaman hayati, walaupun tengah terjadi kegiatan destruktif pada lingkungan sebagai dampak pembangunan dan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia.

Kompleksitas keberlangsungan interaksi antara hewan dan makhluk hidup mencerminkan adanya hubungan dalam ekosistem yang melibatkan terjadinya simbiosis lebis besar dapat menggambarkan struktur dan fungsi komunitas biologis. Hal ini terjadi sesuai dengan pernyataan Dewi (2024), bahwa kompleksitas interaksi antar makhluk hidup dalam suatu ekosistem ditentukan oleh struktur dan komunitas biologi. Urgensi yang dapat dipetik dari pembelajaran simbiosis menjadi semakin startegis untuk dibahas sejalan dengan terjadinya perubahan lingkungan global berupa degradasi habitat, perubahan iklim dan menurunnya keanekaragaman hayati. Fenomena adanya perubahan lingkungan ini menuntut terjadinya pemahaman yang mendalam terkait interaksi dan simbiosis antar organisme untuk dapat bertindak nyata dan berkelanjutan sebagai bentuk strategi konservasi. Perubahan lingkungan secara global merupakan suatu fenomena serius untuk dikaji dan telah dilaporkan Lenak *et al.* (2025), bahwa simbiosis antara karang dan *zooxanthellae* yang menjadi dasar ekosistem terumbu karang sangat rentan akibat pemanasan laut sebagai dampak perubahan iklim dan menjadi faktor yang mempercepat kerusakan terumbu karang dan berkuangnya keanekaragaman hayati. Fenomena kerusakan terumbu karang di perairan menjadi dasar rujukan dalam melakukan analisis tentang dinamika ekologi dan keanekaragaman hayati dalam suatu lingkungan. Dalam kehidupan modern scara kontekstual, simbiosis juga dapat ditemukan dalam kehidupan pada aspek sosial dan ekonomi, misalnya simbiosis yang berupa kemitraan antara petani dan organisme pengendali hama yang dapat menyelamatkan hasil pertanian serta mendukung pertanian berkelanjutan. Hewan memiliki adaptasi dalam simbiosis yang dapat memungkinkan untuk bertahan hidup dan berkembang dalam kondisi lingkungan tertentu.

2.2.1 Parasitisme

Parasitisme merupakan suatu simbiosis berupa hubungan antara dua atau lebih organisme berbeda, namun terjadi keuntungan sepihak dan pihak lain dirugikan. Dalam parasitisme ini terjadi interaksi antara parasit dan inang, dimana inang memiliki ukuran relatif lebih besar dari parasit. Mekanisme parasitisme terhadap inang terjadi secara perlahan dengan waktu cukup lama. Berdasarkan keberadaan parasit terhadap inang dapat dibedakan:

- a) Ektoparasit, organisme parasit hidup dipermukaan luar tubuh inang, misalnya kutu anjing (*caplak*) melalui mulut yang mengalami modifikasi menghisap darah inang (anjing) secara perlahan-lahan sampai inang kurus, menderita hidupnya hingga mati (Packer & Hill, 2021). Kutu manusia (*Pediculus humanus*) yang hidup di rambut kepala manusia. Kutu ini menghisap nutrisi/darah dari inangnya untuk kebutuhan hidup, sedangkan inang (manusia) merasa gatal pada bagian rambut di kepala untuk segera digaruk karena iritasi dari gigitan kutu, sehingga terasa tidak nyaman. Lintah (*Hirudo medicinalis*) sering menempel pada kaki manusia untuk menyedot darah inangnya, dapat menyebabkan anemia atau infeksi pada inang. *Plutella xylostella* dari ngengat punggung berlian (*Diamondback moth*) hidup pada tanaman kubis sebagai inang, pada fase larva merusak daun, terutama daun muda tanaman kubis (Suanda & Sumarya, 2021).
- b) Endoparasit, organisme parasit yang tinggal di dalam organ tubuh inang, contoh: cacing pita pada tubuh manusia atau cacing parasit yang hidup dalam tubuh hewan (inang). Mekanisme endoparasit dengan cara menyerap nutrisi hasil metabolisme sehingga inang

kekurang nutrisi dan hidup inang menjadi merana. Misal: Cacing Pita (*Taenia solium*) hidup parasit dalam tubuh babi dan *Taenia saginata*, parasit dalam usus sapi. Mekanisme kerja cacing pita ini tidak memiliki alat pencernaan, sehingga menyerap nutrisi dari usus hewan inang (Cohen *et al.*, 2023).

Predasi melibatkan konsumsi satu organisme oleh organisme lain. Dari predasi ini muncul suatu pengetahuan tentang parasitoid dan predator. Parasit atau parasitoid berbeda dengan predator, karena memiliki karakter yang jauh berlainan. Parasit (parasitoid) adalah organisme yang memiliki ukuran tubuh lebih kecil dan hidup pada inang atau host (organisme yang ditumpanginya) yang memiliki ukuran tubuhnya lebih besar. Parasitoid yang berada pada tubuh inang berdampak negatif terhadap kehidupan inang berupa penurunan daya hidup secara perlahan-lahan sampai terjadi kematian inang, sehingga bersifat parasit. Aktivitas parasit ditunjukkan dengan cara mengisap cairan tubuh atau darah inang. Mekanisme pengisapan cairan tubuh inang oleh organisme parasit disebut parasitasi. Parasitasi terjadi pada semua fase kehidupan inang, walaupun kisaran inang relatif sempit dibandingkan dengan predator. Adakalanya parasit menyerang parasit atau parasitoid jenis lain dengan cara memberlakukan sebagai inang, peristiwa ini dinamakan hiperparasitasi. Parasit atau parasitoid mendapatkan makanan bersumber dari inang selama hidup dan melakukan proses hidup, seperti reproduksi. Serangga betina biasanya mencari inang untuk meletakkan telur. Jadi kehidupan parasitoid berlangsung dalam tubuh inang selama inang masih hidup sampai menimbulkan kematian (Sopialena, 2018). Hidup parasitoid ada pada inang yang spesifik (monofag), namun ada yang bersifat oligofag yaitu menyerang inang tertentu (non spesifik) (Oktaviana, 2020). Oleh karena itu dapat dibedakan

antara parasitoid primer, perilakunya menyerang inang utama dan parasitoid sekunder bila keberadaannya menyerang parasitoid primer. Keuntungan pemanfaatan parasitoid dalam pengendalian, misalnya: *Trichogramma* sp. bersifat parasit pada telur ordo Lepidoptera, Coleoptera dan Diptera. Pelepasan *Trichogramma* sp. sebagai pengendali hayati dapat mengurangi penggunaan insektisida kimia sintetis, kompatibel, efisien, menjaga keragaman hayati dan berkelanjutan (Suanda, 2023; Suanda *et al.*, 2023).

Predator memiliki ukuran tubuh lebih besar dibanding mangsanya, mangsa yang sudah didapat sesegera mungkin dapat dimatikan/dikalahkan dalam waktu relatif singkat serta segera dihabisi tanpa ada sisa terlihat. Predator memiliki kemampuan mengejar mangsa sangat cepat, mampu mencari mangsa sampai tempat tertentu, memakan mangsa dalam berbagai stadium, walaupun habitat hidup tidak sama. Predator contohnya: Ular memakan tikus, burung Hantu memakan tikus, Buaya memakan ayam dan bangsa Aves memakan belalang atau serangga nyamuk, Lebah perut kuning memangsa *Trigona* sp. Perilaku lebah perut kuning untuk mendapatkan mangsa *Trigona* sp. melalui cara berjaga di pintu keluar dan masuk kandang *Trigona* sp., bila ada *Trigona* sp. yang keluar kandang atau yang ingin masuk kandang melewati lubang/pintu itu secara cepat hama lebah perut kuning menyergap mangsanya (*Trigona* sp.) dan diterbangkan dibawa ke tempat hidupnya (Suanda *et al.*, 2025). Serangga hama lebah perut kuning berjaga di pintu kandang *Trigona* sp. (Gambar 2.3).



Gambar 2. 4 Lebah Perut Kuning Siaga Berjaga di Pintu Kandang Trigona sp.

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

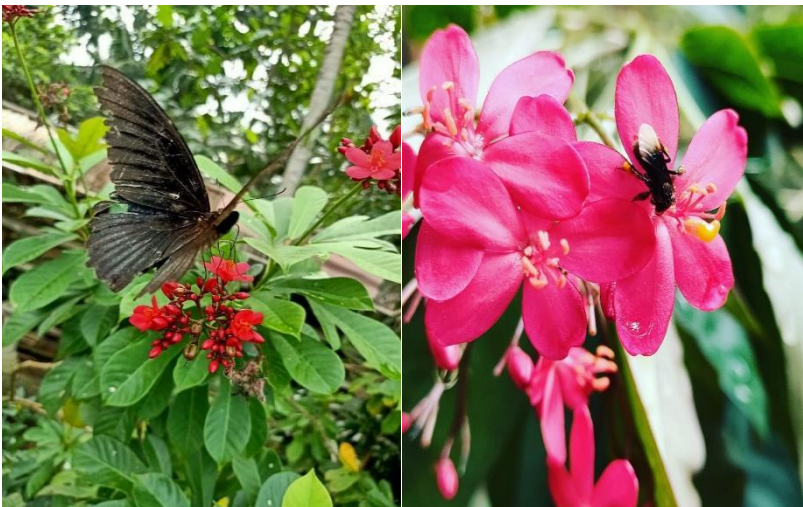
2.2.2 Mutualisme

Simbiosis mutualisme merupakan bentuk kerjasama saling menguntungkan dan menjadi faktor penting dalam keberlangsungan kehidupan di alam (Purba *et al.* 2023), misalnya:

- a) Burung Jalak bertengger di punggung Sapi atau punggung Kerbau untuk mencari lalat yang hinggap pada mamalia ini. Burung Jalak mendapat makanan lalat yang hinggap dipunggung mamalia dan mamalia merasa nyaman terbebas dari kerumunan lalat.
- b) Rayap dengan Protozoa: rayap bila mencerna kayu kesulitan memecah selulosa yang terkandung dalam kayu tersebut, kemudian protozoa yang hidup di dalam usus rayap mampu menghasilkan enzim selulase berfungsi memecah selulosa pelindung kayu. Jadi rayap terbantu enzim selulase yang dihasilkan protozoa untuk melunakan kayu agar bisa terserap tubuh rayap dan protozoa dapat hidup terlindung dengan makanan

yang telah tersedia dalam usus rayap (Lundberg *et al.*, 2021).

- c) Burung Plover (*Pluvianus aegyptius*) dan buaya Nil: simbiosis terjadi dengan cara burung masuk mencari sisa makanan yang tersangkut pada gigi dalam mulut buaya. Buaya merasa diuntungkan karena sisa makanan yang melekat pada giginya dibersihkan oleh burung (Georgiev *et al.*, 2022).
- d) Lebah madu *Trigona* sp. dan kupu-kupu dengan sumber pakan jenis tanaman bunga kaliandra, santostemon dan tanaman bunga airmata pengantin. Serangga kupu-kupu maupun lebah *Trigona* sp. dapat menghisap nektar untuk dijadikan madu dan tanaman bunga terjadi penyerbukan, sehingga kedua jenis organisme mendapat keuntungan (Gambar 2.4).



Gambar 2. 5 Kupu-Kupu dan Lebah *Trigona* sp. Menghisap Nektar pada Bunga

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2024)

2.2.3 Komensalisme

Komensalisme, merupakan kerjasama yang terjadi hubungan antara dua spesies atau lebih, ada spesies memperoleh keuntungan/manfaat, dan spesies lain tidak merasa dirugikan maupun diuntungkan, contoh:

- a) Ikan Hiu dan Ikan Remora (*Echeneidae*): Ikan remora ikut berenang bersama Hiu, karena Remora memiliki struktur khusus yang disebut *sucker disc* di kepalanya, yang memungkinkan Remora menempel pada tubuh Hiu. Keberadaan ini menyebabkan predator atau pemangsa ikan Remora menjadi takut karena ada ikan Hiu yang berukuran besar yang seolah-olah sebagai pelindung ikan Remora. Dalam simbiosis komensalisme ikan remora dapat manfaat atau terasa terlindungi oleh ikan Hiu, namun Hiu tidak ada pengaruh apa-apa, artinya tidak merasa diuntungkan dan tidak merasa dirugikan.
- b) Hewan Sapi yang berteduh dibawah pohon besar: Sapi merasa hidup nyaman dalam suasana teduh dibawah kerindangan pohon besar, namun pohon tidak merasa dirugikan, karena tidak ada merusak pohon tersebut. Bila kajian kita sampai pada peristiwa Sapi tersebut menghasilkan kotoran dan menjadi pupuk organik, sehingga pohon juga merasa diuntungkan karena mendapat unsur hara dari pupuk tersebut, berarti ini termasuk simbiosis mutualisme.

2.2.4. Simbiosis Amensalisme

Amensalisme merupakan suatu simbiosis berupa hubungan yang terjadi satu spesies merasa dirugikan, dan spesies lain tidak mendapatkan manfaat atau kerugian. Simbiosis ini dapat terjadi pada Jalak dan Serangga di tanah: kelompok jalak saat mencari makanan di tanah, sering terjadi peristiwa menginjak dan teraniaya kawanan serangga kecil yang tidak mereka makan. Serangga

mengalami kerugian, tetapi jalak tidak mendapatkan manfaat atau keuntungan tambahan dari tindakan ini (Lundberg *et al.*, 2021).

2.2.5 Simbiosis Kompetisi

Persaingan yang terjadi ketika dua spesies memperebutkan sumber daya yang sama, berupa: makanan, air, lawan jenis atau tempat tinggal. Persaingan sebagai kompetisi dapat bersifat intraspesifik (antara individu dalam spesies yang sama) atau interspesifik (antara spesies yang berbeda). Adaptasi dalam Kompetisi, contoh:

- a) Ayam ras Bali dan Ayam Boiler: Ayam dari kedua ras ini memiliki perilaku mendapatkan makanan dengan cara berbeda, misal: ayam Boiler saat makan dia langsung tertuju pada makanan yang telah disediakan, berbeda kondisinya terjadi pada ayam ras Bali untuk mendapat makanan dia terlebih dahulu bersaing dengan cara berkelahi untuk bisa mengalahkan ayam yang ada di sekitarnya. Bila ayam saingannya sudah dikalahkan maka ayam ras Bali mulai memakan makanan yang telah diberikan.
- b) Beberapa hewan seperti anjing, ayam, kucing dan hewan lainnya dalam perebutan pasangan lawan jenis, mereka bertarung untuk berkelahi untuk menunjukkan kekuatannya agar lawan jenis memilihnya atau dapat dipilihnya.
- c) Kompetisi yang terjadi antara Singa dan Hyena: spesies ini berbagi habitat yang sama dan sering bersaing agar mendapat makanan. Singa terkadang membunuh Hyena untuk mengurangi kompetitornya, namun Hyena mengembangkan strategi untuk melakukan perburuan kelompok hewan lain agar meningkatkan peluang mendapatkan makanan (Borges *et al.*, 2024).

2.3 Respon dan Adaptasi Hewan Terhadap Lingkungan

Keberadaan hewan pada suatu lingkungan bisa ditentukan oleh kemampuan hewan untuk mentolerir kondisi lingkungan sehingga masih mampu bertahan hidup. Kemampuan hidup hewan tetap berada dalam suatu lingkungan menjadikan indikator bahwa hewan masih mampu bertahan hidup, terlebih kemampuan hewan untuk berkembangbiak masih dapat dilakukan. Hewan agar mampu bertahan dalam habitat lingkungan memerlukan penyesuaian diri sesuai kondisi lingkungan tempat berada pada suatu ekosistem. Hewan yang keberadaannya memiliki struktur tubuh maupun susunan organ dipengaruhi faktor lingkungan tempat hidupnya. Hal ini terjadi karena kelengkapan yang dimiliki menjadi adaptasi bagi hewan terhadap lingkungan. Namun lingkungan juga bisa menjadi faktor pembatas, sehingga sehingga terbentuknya ekosistem yang harmonis dan berkelanjutan.

2.3.1 Respon Hewan Terhadap Lingkungan

Respon merupakan tanggapan yang ditunjukkan organisme (hewan) terhadap kondisi lingkungan yang memberi stimulan kepadanya. Respon hewan terhadap kondisi lingkungan bisa segera/cepat dilaksanakan sebagai tanggapan karena kondisi ekstrim yang terjadi serta kepekaan hewan terhadap peristiwa yang terjadi. Respon juga bisa ditanggapi secara perlahan diberikan hewan terhadap kondisi lingkungan. Kepekaan organisme (hewan) terhadap kondisi yang terjadi pada lingkungan bisa diperhatikan dari respon/tanggapan yang dilakukan dan bisa dijadikan indikator. Indikator ini menunjukkan bahwa habitat lingkungan tempat berada hewan itu masih sesuai, walaupun perlu ada beberapa tindakan penyesuaian dilakukan. Tindakan penyesuaian diri hewan terhadap habitat lingkungannya

merupakan respon yang diberikan untuk bisa melewati kondisi tidak menguntungkan atau kondisi ekstrim. Bila hewan sudah memberikan respon pada kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan maka akan terjadi gangguan serius pada kehidupan hewan itu. Respon hewan terhadap kondisi lingkungan yang mencekam atau ekstrim dapat ditunjukkan dengan migrasi ketempat yang lebih cocok dan bisa dilakukan adaptasi. Bentuk respon dan adaptasi hewan terhadap kondisi perubahan lingkungan maupun musuh yang membahayakan dapat berupa kamuflase dan mimikri. Kamuflase menjadi usaha penyamaran yang ditunjukkan hewan untuk mengklabui atau menyamar agar tidak mudah dikenali. Contoh: Warna bulu burung puyuh (*Coturnix japonica*) menyerupai bongkahan tanah, sehingga puyuh bersembunyi pada tempat yang memiliki warna atau kondisi hampir sama dengan dirinya. Strategi penyamaran ini sebagai bentuk adaptasi saat sembunyi dari kejaran pemangsa. Mimikri adalah bentuk penyamaran yang dilakukan dengan meniru penampilan, warna atau perilaku organisme lain agar terhindar dari marabahaya, misal: bunglon (famili Chamaeleonidae), seperti: Bunglon Surai (*Bronchocela jubata*) dan Bunglon Taman (*Calotes versicolor*)

2.3.2 Adaptasi Hewan Terhadap Lingkungan

Adanya kondisi lingkungan yang mengalami perubahan dapat memberikan dampak signifikan terhadap keberadaan populasi hewan penghuni. Populasi hewan memiliki kemampuan untuk beradaptasi terhadap kondisi/perubahan lingkungan dapat mempengaruhi kelangsungan hidup dan pertumbuhan populasi. Untuk keberlangsungan hidup dalam komunitas, maka hewan beradaptasi dengan lingkungan. Hewan akan mentolerir kondisi lingkungan

melalui beberapa cara, diantaranya melakukan adaptasi. Perubahan yang terjadi sebagai akibat kondisi yang terjadi yang disebabkan faktor lingkungan, diantaranya:

(a) Adaptasi Morfologi

Penyesuaian diri hewan terhadap perubahan faktor lingkungan dilakukan melalui memodifikasi struktur dan bentuk tubuh, bahkan merubah warna tubuh. Perubahan dengan memodifikasi diri merupakan respon hewan untuk mengantifikasi perubahan yang terjadi pada lingkungan. Respon yang cepat ini muncul sebagai antisipasi hewan agar tetap bisa bertahan hidup dan bereproduksi. Modifikasi yang dilakukan hewan dalam adaptasi ini, misalnya:

1) Alat Gerak (*ekstremitas*)

Hewan memodifikasi alat gerak sesuai fungsinya, seperti tungkai kelelawar berubah bentuk agar dapat digunakan untuk terbang; Ikan Paus, lumba-lumba dan duyung memodifikasi tungkai dengan merubah bentuk menyerupai model dayung agar dapat digunakan untuk berenang; Cecak terbang memodifikasi tungkainya untuk membantu agar bisa melayang; Monyet ekor panjang melakukan adaptasi dengan memanfaatkan bentuk ekor panjang sebagai alat keseimbangan bila hewan ini melompat dari cabang pohon menuju ke cabang pohon lain. Adanya modifikasi bentuk dan struktur kaki, sayap atau sirip sebagai bagian integral dari adaptasi struktur tubuh hewan.

2) Bentuk dan Ukuran Paruh Aves

Bangsa Aves (jenis burung, ayam, itik) melakukan adaptasi terhadap jenis makanan disesuaikan dengan bentuk paruhnya.

Beberapa adaptasi bentuk paruh burung yang disesuaikan dengan jenis makanan, diantaranya: Burung Elang sebagai predator memiliki paruh tebal dan sangat runcing dan tajam digunakan untuk merobek mangsanya; Burung pemakan biji memiliki paruh kecil dan pendek; Burung pencari nektar bunga memiliki bentuk paruh runcing dan panjang; Itik memiliki paruh berbentuk lempeng atau melebar dimanfaatkan untuk mencari makanan dalam lumpur atau air; Paruh burung berbentuk meruncing dengan ukuran sedang digunakan untuk pemakan serangga dan Burung Egret memiliki paruh berbentuk runcing dan ukuran panjang digunakan untuk menangkap ikan di perairan atau di muara yang berlumpur.

3) Struktur Organ Pencernaan

Kelompok hewan karnivora (pemakan daging) memiliki struktur saluran pencernaan relatif sederhana. Kondisi ini terjadi karena karnivora memiliki lambung lebih sederhana dan sekum mengalami rudimenter. Hewan ruminansia (pemamah biak) memiliki struktur lambung lebih kompleks dari karnivora. Ruminansia memiliki susunan lambung yang terbagi menjadi bagian rumen, retikulum, omasum dan abomasum yang berfungsi mencerna pakan dari jenis rumput-rumputan yang kaya dengan selulosa. Makanan yang masuk ke sekum ruminansia dihancurkan oleh mikroba berupa bakteri penghuni di sekum untuk dilibatkan membantu proses fermentasi agar pakan cepat membusuk dan hancur.

4) Bentuk Gigi

Hewan herbivora memiliki gigi seri pada rahang bagian depan untuk memotong rumput dan mengunyah makanan digunakan gigi geraham dengan mekanisme memamah biak yaitu dikunyah dulu, dikeluarkan lagi dan dikunyah kembali secara berulang. Gigi pada hewan juga mengalami modifikasi bentuk yang disesuaikan dengan fungsinya. Modifikasi gigi terjadi pada ular kobra (ular berbisa), modifikasi taring berbentuk seperti jarum suntik (solenoglifa) berfungsi untuk menyemprotkan racun/bisa ke musuhnya. Susunan gigi berderet ke belakang pada saluran pencernaan ular sanca (*Python reticulatus*) berfungsi untuk menangkap dan memegang mangsa supaya tidak lepas.

5) Struktur Kaki Aves

Bangsa Aves melakukan adaptasi morfologi sesuai fungsinya dengan memodifikasi bentuk kaki. Contoh: adaptasi kaki ayam untuk mengais; struktur kaki cukup kuat dan cakar tajam dimiliki burung elang dan hantu (predator) untuk mencakar mangsanya; kaki itik atau angsa memiliki selaput agar bisa digunakan berenang.

6) Corak Warna Rambut

Rambut yang menutupi tubuh berwarna dengan corak tertentu sebagai latar belakang pada beberapa hewan, seperti: singa (*Felis leo*), cheetah (*Acinonyx jubatus*) dan jerapah (*Giraffa camelopardalis*) sebagai bentuk adaptasi sebagai ciri khas dan bisa dijadikan penyamaran bagi musuhnya. Begitu pula adaptasi warna bulu yang tidak menyolok

(warna gelap/suram) pada burung keluar malam sebagai bentuk penyamaran agar tidak diketahui mangsanya.

7) Kehidupan di Air

Modifikasi untuk kehidupan di air terjadi pada bentuk tubuhpih dan ramping dilengkapi sirip dari kelompok ikan (bangsa Pisces). Adaptasi yang dilakukan Pisces, juga dimanfaatkan untuk bergerak dan mencari makanan skaligus menghindari hewan predator.

8) Kehidupannya di Gurun yang panas dan kering

Adaptasi morfologi yang terjadi pada hewan unta dengan struktur tubuh tinggi, ramping dan memiliki punuk untuk menyimpan air serta bantalan pada kaki untuk menghindari suhu panas saat berjalan di gurun pasir yang panas.

9) Beruang Kutub dan hewan-hewan kutub

Beruang kutub dan hewan kutub beradaptasi warna kulit, rambut, atau bulu berwarna putih untuk penyamaran dan mencari makanan dan sebagai bentuk pertahanan diri.

10) Belut dan Sidat memiliki bentuk tubuh yang gilig dengan sisik yang sangat halus dan memiliki kelenjar lendir yang menghasilkan lendir dapat beradaptasi dengan lingkungan perairan serta memasuki lubang atau sela-sela batuan secara mudah.

11) Ular kepala dua (*Cylindrophis melanotus*) beradaptasi secara morfologi berupa ekor yang mirip dengan kepala. Pada saat kondisi terancam ular melipat ekornya kedepan agak keatas sehingga menyerupai kepala. Morfologi dapat terhindar dari predator dan musuhnya.

(b) Adaptasi Fisiologi

Adaptasi fisiologi pada hewan dilakukan melalui modifikasi fisiologi sesegera mungkin secara cepat terhadap perubahan yang terjadi pada lingkungan. Beberapa adaptasi fisiologi yang terjadi pada hewan, diantaranya:

- 1) Perubahan kadar sel darah merah karena perubahan ketinggian tempat

Kadar oksigen lebih rendah di dataran tinggi dibandingkan di dataran rendah, untuk menyesuaikan kebutuhan oksigen dilakukan adaptasi fisiologi. Adaptasi fisiologi untuk meningkatkan kadar sel darah merah (eritrosit) di dalam darahnya. Sel darah merah mengandung hemoglobin yang berperan dalam mengikat oksigen.

- 2) Fisiologi hewan

Hewan ruminansia memodifikasi lambung agar pada rumen dihuni mikroorganisme berupa bakteri yang mampu memproduksi enzim selulase untuk menghancurkan pakan yang kaya serat selulosa. Kerja enzim selulase dapat memecah selulosa agar pakan mudah dicerna untuk proses metabolisme.

- 3) Hewan-hewan penghisap darah

Hewan penghisap darah dari jenis lintah, pacet, dan nyamuk untuk menghisap darah inang, hewan ini menghasilkan antikoagulasi darah (berupa heparin). Antikoagulasi dapat menghindari pembekuan darah, sehingga bisa menghisap darah inang sepuasnya, bila sudah kenyang dia akan melepas lengketan pada inang.

4) Primata dengan sistem sosial satu jantan (*one male*)

Pada hewanlangur Hanuman (*Semnopithecus entellus*), yang tersebar di India dan Bangladesh melakukan adaptasi fisiologi yang unik pada hewan betina. Jika terjadi pengambilalihan posisi jantan paling kuat (jantan- α) seringkali jantan baru akan membunuh bayi-bayi (*infantisida*). Hal ini terjadi agar induk segera memasuki *estrus* dan hewan jantan baru dapat segera kawin. Betina memiliki mekanisme “tipuan” sebagai strategi menyelamatkan bayinya. Betina secara fisiologi mengalami *estrus shum* (semu), sehingga hewan jantan dapat mengawininya.

5) Ikan Mujair yang hidup di perairan gelap

Ikan mujair memiliki warna tubuh yang lebih gelap dibandingkan dengan yang hidup di perairan jernih. Warna tubuh yang gelap ini sebagai bentuk penyamaran agar sesuai dengan habitanya.

(c) Adaptasi Tingkah Laku

Adaptasi tingkah laku atau perilaku dengan menunjukkan suatu perilaku tertentu dengan prosesnya dapat ditampilkan secara cepat, lebih cepat dari adaptasi fisiologi, karena respon yang ditunjukkan dapat segera diperlihatkan. Adaptasi tingkah laku dapat diperlihatkan pada prilakuperilaku disajikan sebagai berikut ini.

1) Monyet Jepang (*Macaca fuscata*) di Jigokudani Monkey Park, bagian dari Joshinetsu Kogen National Park, Nagano, Jepang, memiliki perilaku yang unik. Hujan salju lebat dan menyelimuti area tersebut selama 4 bulan setiap tahunnya pada elevasi 850 m dpl. Satu populasi monyet yang besar akan mendatangi

satu lembah pada musim dingin, dan mencari makanan di tempat lain disaat musim panas. Monyet akan turun dari lereng pegunungan dan hutan untuk duduk berendam dalam kolam air hangat pada saat musim dingin dan kembali ke hutan pada sore hari. Monyet diberikan makan oleh pengunjung saat turun dari hutan, karena merasa diperlakukan dengan memberi makan, maka monyet memiliki perilaku untuk terus turun hutan untuk berendam di kolam, yang tujuannya agar diberi makan oleh pengunjung.

- 2) Cecak memutuskan ekornya untuk menghindari inang dari kejaran pemangsa. Predator yang ingin memangsa menjadi terkecoh mengejar ekor cecak yang aktif bergerak, sedangkan cecak menjauhi dari kejaran musuh.
- 3) Hamadryas Baboon (*Papio hamadryas*) di Ethiopia yang hidup di Savana dengan sedikit pohon dan akan tidur di lereng bebatuan yang curam agar terhindar dari predator pada malam hari.
- 4) Monyet hitam Sulawesi (*Macaca nigra*) lebih sering tidur di ujung-ujung dahan dengan alasan agar mudah bangun jika ada predator (misalnya ular sanca) yang merayap pada dahan.
- 5) Luwing atau hewan kaki seribu (Diplopoda), menggulung tubuhnya seolah-olah mati untuk mengecoh musuhnya dan akan kembali aktif bila musuh sudah pergi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arum, R. S., & Sari, F. A. (2025). Interaksi Tak Terlihat Menguak Mutualisme, Komensalisme. *Jurnal Sains Student Research*, 3(4):1076–83.
doi: <https://doi.org/10.61722/jssr.v3i4.6070>.
- Borges, R., Tavares, R., & Santos, M. (2024). Migration patterns of European songbirds: Adaptations to climate change. *Journal of Ornithology*, 165(2): 155-167.
- Cohen, P. M., Johnson, L. E., & Patel, N. (2023). Climate change and reproductive success in marine turtles: A global review. *Marine Ecology Progress Series*, 681, 43-59.
- Borden, R. J., Jacobs, J., & Young, G. L. 1986. Human Ecology: A Gathering of Perspectives. Society for Human Ecology.
- Dewi, Dini Harizka. (2024). Menjelajahi Interaksi Antarorganisme Dan Lingkungan Explore Interactions between Organism and The Environment. *Scientica* 2(9):142–47.
- Dyball, R. (2010). Human ecology as open transdisciplinary. Dalam *Tackling Wicked Problems Through the Transdisciplinary Imagination*, 1 ed., 273–84. London: Earthscan.
- Freedman, B. (2013) *Environmental ecology : the impacts of pollution and other stresses on ecosystem structure and function*. Massachusetts, United States: Academic Press.
- Georgiev, M. N., Krumins, J. A., & Williams, A. B. (2022). Morphological adaptations in polar bears: Insights from recent research. *Journal of Mammalogy*, 103(4): 987-995.

- Isnaini, K. Y., Dewi, N. S., Hasanah, N. (2025). Manfaat Simbiosis Mutualisme Terhadap Keanekaragaman Hayati Ekosistem Hutan. *Jurnal Ilmu Nusantara (JINU)* 2(5): 101-117. doi: <https://doi.org/10.61722/jinu.v2i5.6044>.
- Jurnal Bioterdidik. (2023). Analisis Jenis Simbiosis pada Tumbuhan. Universitas Lampung.
- Lenak, M. M., Roeroe, K. A., Paruntu, C. P., Mangindaan, R. E. P., Manembu, I. S., & Rimper, J. R. T. S. I. (2025). Nilai Densitas Rekrutmen Juvenil Karang Scleractinia di Perairan Tanjung Pisok dan Pulau Siladen. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 13(1).
- Lundberg, S., Hall, D., & Johansson, B. (2021). Behavioral responses to environmental stressors in migratory birds. *Animal Behavior and Ecology*, 74(6): 845-856.
- Manggalan, Ajie, C., & Winarno. (2022). Paradoks Simbiosis Mutualisme Dalam Kehidupan Hewan Sebagai Ide Penciptaan Karya Lukis. *Sakala Jurnal Seni Rupa Murni*, 3(1): 115-26
- Manik, K. E. (2018). *Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Kencana.
- Naim, M. A., Hadi, M. & Baskoro, K. (2019). Keanekaragaman burung di daerah terbuka dan tertutup hutan kota Tinjomoyo dengan hutan kota Universitas Diponegoro Semarang. *Jurnal Akademi Biologi*, 2(8): 24-29.
- Nugroho, A. S., Anis, T., & 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.

- Oktaviana, R. M. (2020). Keanekaragaman Serangga pada Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) di Areal Persawahan Desa Jorlang Hataran, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Purba, R., Manalu, R. S., Simamora, T. G., & Harefa, M. S. (2023). Interaksi Organisme Terhadap Perubahan Lingkungan: Studi Kasus Dalam Ekologi Hutan. *Jurnal Wilayah, Kota dan Lingkungan Berkelanjutan*, 2(2):100–108.
- doi: <https://doi.org/10.58169/jwikal.v2i2.246>
- Packer, S., & Hill, M. J. (2021). Symbiotic relationships between clownfish and sea anemones: Mutual benefits and evolutionary perspectives. *Ecological Partnerships*, 62(2): 125-134.
- Pratiwi, A. (2005). Pengamatan Burung di Resort Bama Seksi Konservasi Wilayah II Bekol dalam Upaya Reinventarisasi Potensi Jenis. Taman Nasional Baluran. Jawa Timur.
- Suanda, I. W., Rusmayanthi, K. I., & Mikhaela, I. P. (2025). Pembelajaran Ekologi Hewan pada Budidaya Lebah Madu Trigona sp. di Desa Adat Cengkok Mengwi. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas PGRI Mahadewa. *Prosiding SEMBIO: Seminar Nasional Biologi dan Pendidikan Biologi*, 4: 1-10.
- Suanda, I. W. (2023). Pengaruh Faktor Biotik pada Tumbuhan dalam Buku Ekologi Serangga. Universitas PGRI Mahadewa Indonesia. Denpasar. Penerbit: GET Press Indonesia. Padang Sumatra Barat. hal 131-152.
- Suanda, I. W. (2021). Buku: Manisnya Brotowali sebagai Fitofarmasida. Universitas PGRI Mahadewa Indonesia. Penerbit Klik Media. Lumajang, Jawa Timur. 192 hal.

https://drive.google.com/folderview?id=14LFZTSDwsgqORvHx0phf_Z6NFo6TUBz-

Suanda, I. W., & Sumarya, I. M. (2021). Ekstraksi dan Fraksinasi Daun Brotowali (*Tinospora crispa* L. Miers) untuk Insektisida Nabati pada Larva *Plutella Xylostella* L. *Jurnal Widya Biologi*, 12(01): 17-33.

Swasta, I. B. J. (2019) Bioekologi Ekosistem Laut dan Estuaria. Yogyakarta, Indonesia: PT RajaGrafindo Persada.

Subagiyo, L. (2019). Literasi Hutan Tropis Lembab & Linkungannya. 1st edn. Edited by Sudarman. Samarinda: Mulawarman University Press.

Sopialena. (2018). Pengendalian Hayati dengan Memberdayakan Potensi Mikroba ISBN: 978-602-6834-XX-X © 2018. Mulawarman University Press.

Utina, R. (2015). Ekologi dan lingkungan hidup. Gorontalo: UNG Press. Available at: <http://repository.ung.ac.id/karyailmiah/show/321/ekologidan-lingkungan-hidup.html>.

Vanya, K. M. P. (2021). Ekologi: Definisi, Ruang Lingkup, Asas dan Manfaatnya, 3(2): 6.

BAB 3

HABITAT DAN RELUNG EKOLOGI

Oleh Herlina Putri Endah Sari

Hewan berinteraksi sangat erat dengan lingkungan untuk mempertahankan kehidupan dan bereproduksi. Lingkungan ini harus mampu menyediakan sumberdaya yang dibutuhkan hewan untuk keberlangsungan aktivitasnya. Dalam kajian ekologi hewan, lingkungan tempat organisme hidup dikenal sebagai habitat. Habitat tidak hanya menentukan keberadaan suatu organisme, tetapi juga memengaruhi pola distribusi, kelimpahan populasi, perilaku, serta interaksi yang terjadi antarorganisme. Oleh karena itu, pemahaman mengenai habitat merupakan dasar penting untuk menjelaskan adaptasi hewan terhadap lingkungan dan pengaruhnya terhadap keberlangsungan suatu populasi maupun komunitas.

Meskipun spesies yang berbeda dapat hidup pada habitat yang sama, masing-masing memiliki cara yang berbeda dalam memanfaatkan sumber daya yang tersedia. Konsep inilah yang melandasi pemahaman tentang relung ekologi (*ecological niche*), yaitu peran dan posisi suatu organisme dalam ekosistem yang mencakup kebutuhan sumber daya, toleransi terhadap faktor lingkungan, serta interaksinya dengan organisme lain. Pemahaman tentang habitat dan relung ekologi dapat digunakan untuk menganalisis pola keanekaragaman hayati, dinamika populasi, serta strategi konservasi satwa di berbagai tipe ekosistem.

3.1 Habitat

Habitat merupakan lingkungan spesifik tempat hewan tinggal, termasuk faktor-faktor biotik dan abiotik yang terdapat di sekitarnya. Konsep habitat, telah berkembang sejak 200 tahun lalu. Berdasarkan etimologi, kata habitat berasal dari kata *inhabit* atau *habitant*, yang dapat digunakan untuk berbagai pembahasan tidak hanya di ekologi. Kata habitat mungkin pertama kali dicetuskan oleh Carolus Linnaeus dan Johan Gustaf Hallman melalui karya-karya mereka sekitar tahun 1745 hingga mengalami perkembangan yang cukup signifikan melalui tulisan-tulisan dari Grinnel, Shelford, Dice, Elton, Lack dan lainnya pada tahun 1900-1930an (Veech, 2021).

Habitat merupakan unit geografi yang secara efektif mendukung keberlangsungan hidup dan reproduksi suatu spesies (Sumarto & Koneri, 2016). Secara sederhana dapat dikatakan sebagai tempat suatu organisme menetap. Habitat menjadi sebuah rumah bagi hewan, yang sangat penting untuk kebutuhan dalam mencari makan, pasangan kawin, dan kesuksesan reproduksi. Selain itu habitat juga digunakan sebagai daerah jelajah, perlindungan, larian, atau kegiatan hidup lainnya. Dalam proses pemanfaatan habitat, terjadi seleksi terhadap suatu habitat yang sesuai untuk menunjang kehidupannya. Pemahaman mendalam mengenai habitat merupakan prasyarat penting dalam kajian ekologi populasi, konservasi keanekaragaman hayati, dan pengelolaan satwa liar.

3.1.1 Komponen Habitat

Habitat tempat tinggal hewan harus memiliki empat komponen utama, yaitu tempat berlindung, air, makanan, dan ruang. Suatu tempat dapat dikatakan

sebagai habitat hewan jika semua komponen tersebut terpenuhi dengan jumlah yang sesuai (WV DNR, 2026).

a. Tempat berlindung (*Shelter*)

Tempat berlindung merupakan lokasi bagi hewan untuk berlindung dari cuaca dan predator, menjadi tempat beristirahat, bertengger, atau tempat untuk memelihara individu muda.

b. Air (*Water*)

Air merupakan komponen yang sering terbaik dalam pembentukan habitat. Komponen ini sangat penting untuk memenuhi kebutuhan minum serta membersihkan tubuh hewan.

c. Makanan (*Food*)

Ketersediaan makanan dan preferensi individu berubah mengikuti musim, sehingga menyebabkan berbagai jenis hewan berpindah dari satu tempat ke tempat lain untuk mendapatkan sumber makanan. Peningkatan sumber makanan dapat dilakukan secara buatan oleh manusia dengan menanam berbagai vegetasi yang dapat meningkatkan sumber makanan bagi herbivora, yang selanjutnya dapat menarik kedatangan hewan-hewan lain pada trofik atas.

d. Ruang (*Space*)

Ruang merupakan komponen dasar yang dibutuhkan hewan untuk mendapatkan makanan, perlindungan, dan akses untuk fungsional lainnya.

Komponen-komponen habitat merupakan interaksi dari 2 faktor di lingkungan, yaitu faktor biotik dan abiotik. Faktor biotik mencakup semua organisme pada area tersebut, yang merupakan komponen hidup. Sementara faktor abiotik merupakan komponen tak hidup, yang terdiri dari faktor fisika dan kimia misalnya temperatur (suhu), air, dan nutrisi. Kedua faktor ini saling berkaitan dan berinteraksi secara kompleks

membentuk satu kesatuan habitat (Taylor *et al.*, 2017; Maknun 2017).

a. Faktor Biotik

Faktor biotik terdiri dari semua organisme hidup pada suatu habitat. Faktor ini membatasi kemampuan spesies untuk bertahan hidup dan bereproduksi. Misalnya, suatu spesies hewan sangat dipengaruhi oleh adanya kehadiran predator (hewan lain), atau kehadiran tumbuhan untuk dimakan bagi hewan herbivora. Faktor biotik lain misalnya kehadiran hewan polinator, parasit, patogen, dan kompetitor berperan penting sebagai faktor pembatas distribusi suatu spesies. Selain itu, adanya tumbuhan dapat dimanfaatkan oleh hewan sebagai tempat membuat sarang dan berlindung.

b. Faktor Abiotik

Hewan harus mampu beradaptasi dengan faktor abiotik agar mampu bertahan pada suatu lingkungan. Faktor-faktor abiotik misalnya temperatur, air, oksigen, salinitas dan lainnya dapat menjadi pembatas distribusi suatu spesies. Faktor abiotik seringkali bersifat fluktuatif secara harian maupun musiman, sehingga hewan-hewan biasanya beradaptasi melalui perilaku.

Temperatur (suhu) merupakan faktor abiotik yang penting untuk hewan karena mempengaruhi metabolisme. Tiap spesies hewan memiliki rentang temperatur yang berbeda untuk mampu bertahan, namun beberapa spesies memiliki adaptasi yang luar biasa melebihi rentang umumnya. **Air**, terutama bagi hewan terestrial sangat penting untuk menghindari dehidrasi. Sementara bagi hewan akuatik, air merupakan komponen yang mengelilingi kehidupan mereka. **Kelembapan** merupakan jumlah uap air di udara yang dapat mempengaruhi organisme. Kelembapan ini

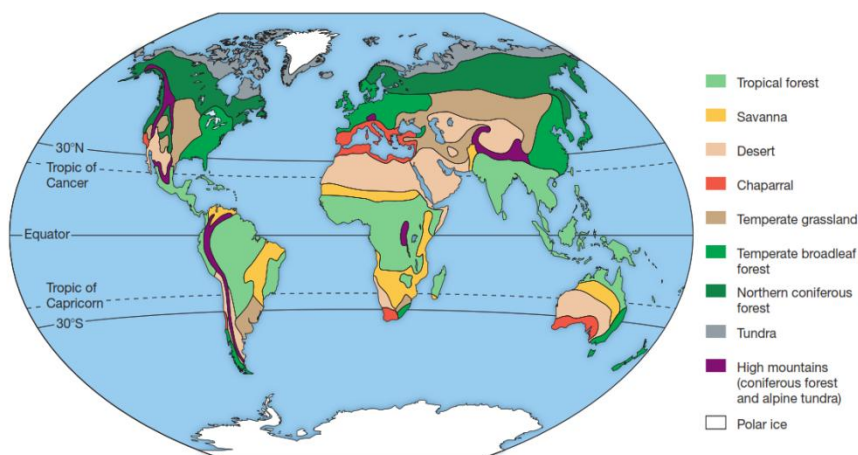
berkaitan dengan penguapan pada organisme yang dapat menyebabkan dehidrasi sehingga suatu organisme harus menyesuaikan aktivitasnya dengan faktor kelembapan dan penguapan. **Cahaya matahari** menjadi faktor pembatas bagi kehidupan hewan. Cahaya berlebih dapat menyebabkan rusaknya protoplasma, namun cahaya tetap menjadi sumber energi utama bagi kehidupan.

3.1.2 Klasifikasi Habitat Berdasarkan Lingkungan Fisik

Klasifikasi habitat tidak seperti klasifikasi spesies, dimana tidak ada persetujuan "taksonomi" dan terdapat berbagai macam sistem yang dikembangkan. Berdasarkan lingkungan fisik yang membentuknya, habitat dibedakan menjadi dua, yaitu bioma terestrial dan bioma akuatik. Klasifikasi bioma terestrial dapat dilihat pada Gambar 3.1.

a. Bioma Terestrial

Bioma terestrial terdiri dari hutan, sabana, padang rumput, semak, tundra, gurun, pegunungan, dan kutub. Pembagian wilayah terestrial biasanya berdasarkan variasi iklim di setiap lokasi (Taylor *et al.*, 2017; Fowler *et al.*, 2023).



Gambar 3. 1 Bioma Terrestrial

(Sumber: Taylor *et al.*, 2017)

1. Hutan Tropis

Hutan tropis terletak di dekat garis ekuator dengan curah hujan bervariasi (antara 200-400 cm tiap tahun), yang mempengaruhi jenis vegetasi yang tumbuh. Adanya berbagai jenis vegetasi yang tumbuh dari pohon tinggi hingga herba menyebabkan perbedaan lapisan yang menciptakan berbagai macam habitat bagi hewan. Kanopi yang hampir menutupi permukaan tanah menyebabkan hanya sedikit sinar matahari yang mencapai lantai hutan. Beberapa hewan berdiam di dalam pohon. Sementara berbagai monyet, burung, serangga, ular, kelelawar, dan katak dapat ditemukan beberapa meter dari atas permukaan tanah.

2. Sabana (Savana)

Sabana merupakan wilayah yang didominasi padang rumput dan dipenuhi dengan pohon yang tersebar. Curah hujan pada wilayah ini rata-rata 30-50 cm per tahun. Area ini merupakan habitat bagi

mamalia besar dan predatornya, misalnya jerapah, zebra, antelop, singa, dan chitah. Hewan herbivora yang dominan pada wilayah sabana yaitu serangga, terutama semut dan rayap. Serta hewan-hewan yang tinggal pada liang, termasuk tikus, ular, cacing, dan artropoda lain.



Gambar 3. 2 Formasi vegetasi hutan hujan tropis dataran rendah di Taman Nasional Bukit Barisan Selatan

(Sumber: Sibarani *et al.* 2020)

3. Gurun

Gurun merupakan wilayah paling kering pada habitat terestrial, dengan curah hujan yang sangat jarang (kurang dari 30 cm tiap tahun). Beberapa gurun memiliki temperatur di atas 60°C dengan perubahan temperatur harian yang ekstrim. Sementara beberapa gurun lain memiliki temperatur -30°C sehingga relatif dingin. Hewan-hewan yang tinggal pada wilayah ini memiliki adaptasi tinggi pada kekeringan dan temperatur ekstrim dengan tinggal pada liang, hanya aktif pada

malam hari, atau memiliki adaptasi mempertahankan cairan tubuh. Beberapa hewan herbivora beradaptasi dengan memakan biji, misalnya semut, burung, dan rodensia. Sementara kadal, ular dan beberapa burung elang memakan hewan-hewan herbivora tersebut.

4. Semak Belukar / Shrubland / Chapparal

Wilayah semak belukar ditandai dengan vegetasi semak yang rapat, tajm, dan tumbuhan dengan daun yang selalu hijau. Hewan yang mendiami habitat ini biasanya hewan penjelajah, diantaranya rusa, burung pemakan buah, rodensia pemakan biji, serta kadal dan ular.

5. Padang Rumput Temperat

Padang rumput hampir memiliki topografi yang mirip dengan sabana, hanya saja sering tanpa pepohonan yang tumbuh, kecuali wilayah dekat sungai atau alur. Curah hujan tahunan rata-rata 25-75 cm tiap tahun, dan memiliki waktu kekeringan yang cukup sering. Hewan yang mendiami habitat ini seringkali mamalia besar pemakan rumput, misalnya bison, kuda liar, dan domba liar. Hewan lain misalnya mamalia kecil biasanya tinggal di liang tanah untuk melarikan diri dari predator. Hewan kecil lainnya yang mendiami wilayah ini yaitu cacing tanah dan artropoda tanah.

6. Hutan Berdaun Lebar / Hutan Temperat

Hutan berdaun lebar biasanya terdapat di wilayah temperat, dengan vegetasi yang didominasi oleh oak dan pohon maple. Temperatur pada wilayah ini bervariasi dari musim panas hingga musim dingin bersalju. Curah hujan rata-rata sebesar 30-60 cm tiap tahun pada waktu tertentu. Banyak jenis pohon yang menggugurkan daun dan dormansi pada musim gugur. Hewan yang mendominasi pada wilayah ini yaitu invertebrata

yang tinggal di tanah dan serasah. Vertebrata yang mendiami wilayah ini diantaranya tikus dan tupai tanah, serta mamalia predator termasuk rubah, beruang, dan singa gunung.

7. Hutan Konifer / Hutan Boreal / Taiga

Pada hutan konifer, iklim terdiri dari musim dingin yang panjang dan musim panas basah yang pendek. Hanya sedikit spesies pohon yang tumbuh, biasanya pohon dengan bentuk konifer (seperti corong). Hewan yang mendiami habitat ini termasuk rusa besar, beruang, serigala, dan burung-burung migran.

8. Tundra

Sedangkan area Alpine tundra memiliki iklim yang luar biasa dingin dan panjang. Pada wilayah ini hanya sedikit pohon yang bisa tumbuh akibat angin yang terlalu kencang serta temperatur dingin. Hewan yang mendiami wilayah tundra beradaptasi terhadap kondisi dingin, diantaranya herbivora besar (), rubah artik, dan burung hantu salju. Sementara pada saat musim yang lebih hangat mampu mendukung larva serangga untuk hidup.

9. Kutub

Temperatur pada area ini luar biasa dingin melebihi area pegunungan, hingga es menutupi permukaan tanah. Hanya sedikit wilayah yang tidak tertutup es, bahkan saat musim panas. Hewan yang mendiami area ini diantaranya beruang kutub, nematoda, tungau, dan serangga ekor pegas. Wilayah terestrial kutub terhubung dengan wilayah bioma laut di sekitarnya, yang mendukung kehidupan hewan air seperti anjing laut, serta burung air misalnya penguin dan camar.

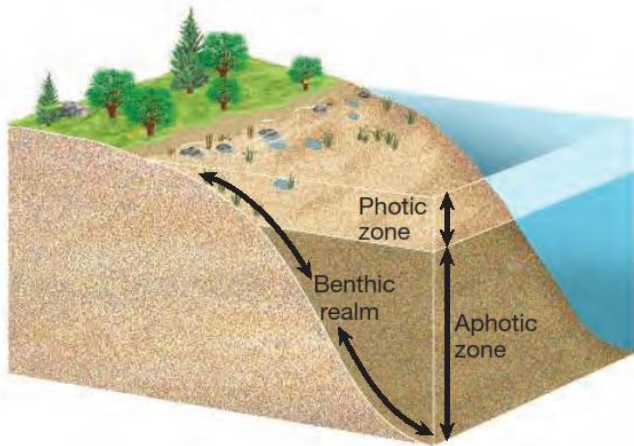
b. Bioma Akuatik

Habitat akuatik terdiri dari habitat perairan tawar dan laut (Taylor *et al.*, 2017; Fowler *et al.*, 2023).

1. Perairan Tawar

Bioma perairan tawar terbagi menjadi area perairan tetap (danau dan telaga), area perairan mengalir (sungai dan alur), serta area lahan basah. Distribusi hewan pada perairan air tawar bergantung pada arus, cahaya matahari, dan nutrisi. Pada **danau dan telaga**, distribusi hewan bergantung pada kedalaman dan jarak dari tepi (Gambar 3). Beberapa danau dan telaga menerima residu kimiawi dari proses pertanian yang menyebabkan produksi berlebihan alga atau tumbuhan air. Hal ini mengurangi penetrasi air dan dapat menyebabkan terbunuhnya ikan yang beradaptasi pada kondisi perlu oksigen. **Sungai dan alur** sangat berbeda dengan danau dan rawa dalam hal mendukung kehidupan hewan. Area hulu (sumber air) biasanya memiliki air yang bersih, dingin, serta banyak oksigen yang mendukung kehidupan fitoplankton. Sementara hewan bentik yang paling banyak biasanya artropoda, misalnya krustasea kecil dan larva serangga karena memiliki adaptasi bentuk dan perilaku yang tahan terhadap aliran air kuat. Wilayah hilir (ujung sungai), biasanya lebih lebar namun aliran air lambat. Air biasanya lebih hangat, rendah kandungan oksigen, dan terkadang mengandung sedimen. Hewan yang biasa tinggal di area hilir diantaranya cacing-cacingan dan serangga yang tinggal di dalam lumpur. Area **lahan basah** tawar terdiri dari rawa dan paya, yang

sangat mendukung keanekaragaman hewan. Area ini juga menyediakan simpanan air yang mengurangi banjir dan meningkatkan kualitas air.

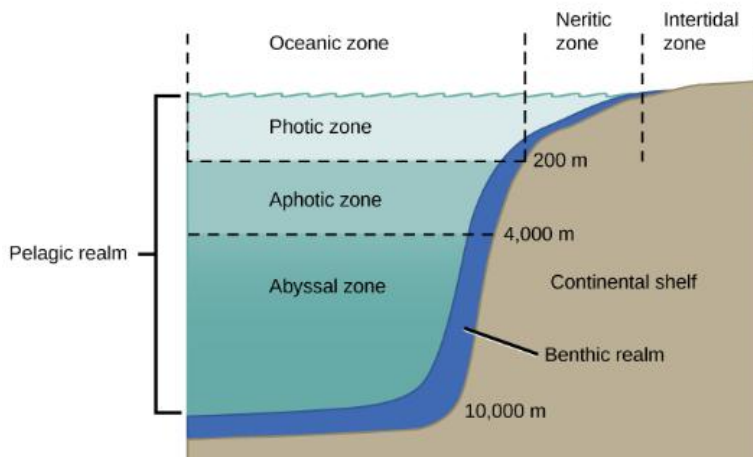


Gambar 3. 3 Zona Danau

(Sumber: Taylor *et al.*, 2017)

2. Laut

Ekosistem laut sangat bervariasi, dari perairan dalam, terumbu karang, pesisir, maupun bagian substrat. Distribusi hewan pada ekosistem laut bergantung pada ketersediaan sinar matahari dan substrat. Zona pada ekosistem laut dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.

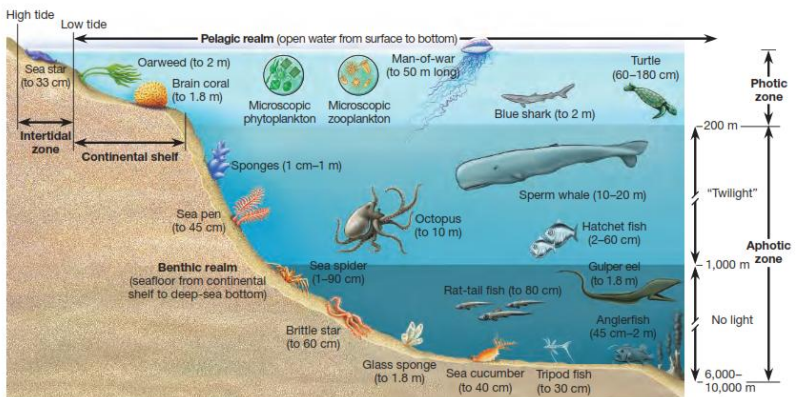


Gambar 3. 4 Zona Akuatik

(Sumber: Harris, 2023)

Pada area **Pelagic** terdiri dari seluruh perairan lautan terbuka, sementara area **Benthic** merupakan area lantai atau substrat. Area *benthic* zona *photic* menjadi habitat dari hewan spons, cacing laut, kerang, anemon laut, kepiting, dan echinodermata. Sementara ikan, mamalia laut, dan beberapa jenis lainnya menempati area *pelagic* zona *photic*. Habitat **terumbu karang** dapat ditemukan di perairan hangat dan dangkal di atas landasan kontinental. Pada habitat ini terdapat hubungan simbiosis antara hewan-hewan terumbu dengan alga mikroskopis yang hidup. Alga mendukung ekosistem dengan energi, dan terumbu karang memberikan lingkungan yang cocok untuk alga. Wilayah ini juga mendukung kehidupan berbagai invertebrata dan ikan.

Wilayah **aphotic**, wilayah di bawah *photic*, memiliki kedalaman 200-1.000 m di bawah permukaan laut. Pada wilayah ini didominasi oleh ikan-ikan kecil dan krustasea. Wilayah ini disebut sebagai wilayah *twilight*, dimana hanya terdapat sedikit cahaya matahari yang masuk. Pada wilayah ini, hewan beradaptasi dengan memiliki mata yang membesar dan memberikan kemampuan pada mereka untuk melihat di wilayah minim cahaya. Sementara area lautan di bawah 1.000 m memiliki kondisi gelap total. Adaptasi hewan pada habitat ini yaitu terbentuknya morfologi yang aneh, misalnya ikan dari Ordo Lophiiformes (ikan pemancing).



Gambar 3. 5 Zona dan Kehidupan Lautan

(Sumber: Taylor *et al.*, 2017)

Wilayah **intertidal**, merupakan wilayah pertemuan lautan dengan daratan. Tepian akan dihantam ombak selama pasang tinggi dan akan terpapar matahari serta kering selama surut. Wilayah intertidal merupakan habitat bagi teritip dan remis yang menempel pada bebatuan. Pada bagian yang berpasir, dihuni oleh cacing pemakan

suspensi, kerang, dan krustase predator. **Estuari** terbentuk dari sungai atau alur air tawar yang bergabung dengan air laut. Area ini memiliki kadar garam bervariasi serta dipenuhi oleh nutrisi yang berasal dari sungai. Estuari merupakan habitat bagi kerang, kepiting, dan berbagai jenis ikan.

Sementara itu, klasifikasi habitat menurut Elton terdiri dari tujuh tipe, yaitu terestrial, akuatik, akuatik-terestrial (transisi), subteran (bebatuan, gua dan terowongan), udara, domestik (buatan manusia termasuk perumahan, persawahan, dan perkebunan), serta umum (sangat beragam misalnya habitat makrofungi, kotoran, dan bangkai). Sedangkan berdasarkan klasifikasi IUCN (2012), habitat dibedakan menjadi 17 tipe yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Klasifikasi Habitat IUCN

No	Klasifikasi Umum	Klasifikasi Khusus
1.	Hutan (Forest & Woodland)	Hutan boreal, hutan subartik, hutan subantartika, hutan temperat, hutan kering subtropis/tropis, hutan dataran rendah lembab subtropis/tropis, hutan mangrove subtropis/tropis, hutan rawa subtropis/tropis, hutan pegunungan lembab subtropis/tropis
2.	Sabana (Savana)	Sabana kering, sabana lembab
3.	Semak (Shrubland)	Semak subartik, semak subantartika, semak boreal, semak temperat, semak kering subtropis/tropis, semak lembab

No	Klasifikasi Umum	Klasifikasi Khusus
		subtropis/tropis, semak dataran tinggi subtropis/tropis, semak mediteranian
4.	Padang Rumput (Grassland)	Tundra, padang rumput subartik, padang rumput subantartika, padang rumput temperat, padang rumput dataran rendah kering subtropis/tropis, padang rumput dataran rendah basah subtropis/tropis, padang rumput dataran tinggi subtropis/tropis
5.	Lahan Basah (Wetlands)	Sungai dan alur permanen, sungai dan alur musiman, danau air tawar permanen, danau air tawar musiman, rawa air tawar permanen, rawa air tawar musiman, oase, lahan basah tundra, lahan basah alpine, lahan basah geotermal, kuala permanen, danau air asin permanen, danau air asin musiman, rawa air asin permanen, rawa air asin musiman
6.	Area Bebatuan (Inland Rocky Areas)	-
7.	Goa & Subteranian	Goa kering, goa subteranian

No	Klasifikasi Umum	Klasifikasi Khusus
8.	Gurun (Desert)	Gurun panas, gurun temperat, gurun dingin
9.	Laut – Zona Neritik (Marine – Neritic)	Pelagik, bebatuan subtidal, bebatuan kerikil, pasir subtidal, lumpur-pasir subtidal, lumpur subtidal, makroalga, terumbu karang, lamun, estuari
10.	Laut (Marine – Oceanic)	Epilagik, mesopelagik, bathipelagik, abisopelagik
11.	Laut Dalam (Marine - Deep Ocean Floor)	Bathil (200-4.000m), abisal (4.000-6.000m), abisal pegunungan, hadal (>6.000m), gunung laut, kawah laut dalam
12.	Marine Intertidal	Pantai berbatu, pantai berpasir, pantai berkerikil, pantai berlumpur, area akar mangrove terendam
13.	Pesisir Laut (Marine – Coastal / Supratidal)	Tebing pantai, goa pesisir, bukit pasir pesisir, danau/laguna laut
14.	Daratan Buatan (Artificial Terrestrial)	Lahan pertanian, lahan padang rumput buatan, perkebunan, taman kota, area pemukiman
15.	Perairan Buatan (Artificial Aquatik)	Area penyimpanan air, kolam, kolam budidaya, area pembuatan garam, area pengolahan air limbah, tanah irigasi, kanal, sistem hidrologi, tambak budidaya air laut, tambak budidaya air payau

No	Klasifikasi Umum	Klasifikasi Khusus
16.	Vegetasi Introduksi (Introduced Vegetation)	-
17.	Lainnya	-

Sumber: IUCN (2012)

3.2.3 Makrohabitat dan Mikrohabitat

Makrohabitat merujuk pada lingkungan dalam skala besar yang menyediakan kondisi dasar bagi kelangsungan hidup suatu spesies, mencakup variasi lingkungan yang cukup luas, relung ekologi yang beragam, serta flora dan fauna yang kaya dan kompleks. Setiap hewan akan menempati mikrohabitatnya masing-masing, yaitu bagian dari habitat yang merupakan kondisi paling optimal dengan organisme (Maknun, 2017). Mikrohabitat adalah unit lingkungan terkecil yang secara langsung melingkupi suatu organisme dan memengaruhi kelangsungan hidupnya dari saat ke saat. Berbeda dengan makrohabitat yang mencerminkan kondisi umum suatu kawasan, mikrohabitat mencerminkan kondisi setempat (lokal) yang dialami oleh individu hewan dalam skala yang sangat terbatas, baik dalam ruang maupun waktu. Skala mikrohabitat sangat bervariasi, mulai dari celah batuan selebar beberapa sentimeter hingga hamparan sampah daun seluas beberapa meter persegi.

3.2.4 Habitat Khusus pada Hewan

Berdasarkan spesies hewan dan perilakunya, habitat khusus pada hewan terdiri dari habitat arboreal, subteran aerial, intertidal, pelagik, dan bentik.

1. Habitat Arboreal

Habitat arboreal merupakan lingkungan yang berhubungan dengan pohon atau di atas tanah, biasanya banyak ditemukan di wilayah hutan hujan tropi, hutan temperat, dan jenis hutan lainnya. Kebanyakan hewan yang mendiami habitat arboreal terutama dari Primata. Diantaranya loris, lemur, monyet (misalnya makaka dan tamarin), kera (misalnya orangutan, gorila dan gibbon) (Fowler *et al.*, 2023). Zona vertikal dalam habitat arboreal merupakan gradien ekologi yang penting. Semakin ke atas, intensitas cahaya semakin tinggi, suhu semakin bervariasi, dan kelembaban relatif semakin rendah pada siang hari. Sebaliknya, lapisan bawah kanopi cenderung lebih teduh, stabil secara termal, dan lembap. Perbedaan kondisi ini menciptakan relung ekologi yang beragam bagi berbagai kelompok organisme (Lowman & Rinker, 2004).

2. Habitat Subteran

Habitat subteran adalah habitat yang berada di bawah permukaan tanah. Karakteristik utama habitat subteran meliputi: (1) absensi atau minimnya cahaya matahari; (2) stabilitas termal yang tinggi; (3) kelembaban tinggi; (4) konsentrasi oksigen yang lebih rendah dan CO₂ yang lebih tinggi dibandingkan atmosfer permukaan; serta (5) ketersediaan pakan yang sangat terbatas (Frontiers in Biology, 2023). Hewan-hewan yang mendiami habitat subteran diantaranya organisme yang sepenuhnya bergantung pada habitat gua dan tidak dapat bertahan di permukaan atau organisme yang dapat hidup di dalam dan di luar gua, namun memilih habitat gua untuk kegiatan tertentu seperti hibernasi atau reproduksi. Berbagai jenis kelelawar dan tikus tanah merupakan contoh dari hewan yang mendiami habitat ini

3. Habitat Aerial

Habitat aerial atau habitat udara merujuk pada ruang atmosfer yang digunakan oleh organisme untuk bergerak, mencari makan, berkomunikasi, atau bahkan hidup dalam jangka waktu yang panjang. Karakteristik fisik habitat aerial yang paling menonjol adalah (1) kondisi yang terus berubah akibat dinamika angin, suhu, tekanan udara, dan kelembaban; (2) ketiadaan substrat fisik permanen (organisme tidak dapat beristirahat di udara tanpa pengeluaran energi, kecuali dengan melayang atau terbang aktif); dan (3) gradien kondisi lingkungan yang signifikan secara vertikal.

4. Habitat Intertidal

Habitat intertidal, yang juga dikenal sebagai zona litoral atau zona pasang surut, adalah zona peralihan antara lingkungan terestrial dan laut yang secara periodik terendam dan terekspos udara mengikuti siklus pasang surut. Organisme intertidal telah mengembangkan strategi adaptasi yang luar biasa untuk menghadapi tekanan lingkungan yang ekstrem dan periodik. Tiram dan teritip menutup cangkangnya saat terekspos udara untuk mencegah kehilangan air dan menghemat energi.

5. Habitat Pelagik

Habitat pelagik mencakup seluruh zona kolom air laut bebas, dari permukaan hingga kedalaman terbesar di palung samudra. Kata 'pelagik' berasal dari bahasa Yunani pelagos, yang berarti 'laut terbuka'. Berbeda dengan habitat bentik yang berasosiasi dengan substrat dasar, habitat pelagik secara eksplisit mencakup massa air laut itu sendiri sebagai medium kehidupan.

6. Habitat Benthik

Habitat bentik adalah habitat yang berasosiasi dengan substrat dasar perairan, baik di lingkungan

laut maupun air tawar. Kata 'bentik' berasal dari bahasa Yunani benthos, yang berarti 'kedalaman laut'. Organisme yang hidup di atau dekat dasar perairan disebut bentos (benthos), dan habitat mereka disebut habitat bentik atau zona bentik. Substrat ini menyediakan permukaan untuk penempelan (bagi hewan sessil seperti karang dan spons), media bagi organisme penggali (hewan infaunal seperti cacing polychaeta dan kerang), serta tempat berlindung dari arus dan predator.

3.2 Relung Ekologi (*Niche*)

Setiap makhluk hidup memiliki relung ekologi, yaitu keseluruhan pemanfaatan sumberdaya untuk kelangsungan hidup. Misalnya relung ekologi suatu spesies burung mencakup lokasi sarang, bahan pembuat sarang, serangga mangsa, waktu beraktivitas, serta iklim seperti curah hujan, temperatur, kelembapan dan faktor lain yang memungkinkannya bertahan hidup.

Berdasarkan Sumarto & Koneri (2016), relung ekologi dapat juga diartikan sebagai kedudukan fungsional suatu populasi dalam habitatnya atau perannya dalam ekosistem. Sementara berdasarkan Maknun (2017), relung suatu organisme bukan hanya ditentukan oleh tempat organisme itu hidup, namun juga fungsi yang dimilikinya. Definisi relung ekologi tidak hanya mendeskripsikan kondisi yang dibutuhkan untuk keberadaan spesies, namun juga peranan ekologi spesies tersebut dalam ekosistem (Polechiva & Storch, 2017).

3.2.1 Konsep Relung Ekologi

Sebagai konsep, niche lebih kompleks, rumit, dan sangat teoritikal dibandingkan dengan habitat.

- a. Konsep relung ekologi Grinellan

Joseph Grinnell menyebutkan bahwa relung ekologi suatu spesies ditentukan oleh habitat, dimana spesies tersebut tinggal dan disertai dengan adaptasi perilaku (Khatibi & Sheikholeslami, 2016). Grinnell menempatkan empat komponen utama dalam relung ekologi, yaitu tipe makanan yang dikonsumsi, pemilihan mikrohabitat, sifat fisik dan perilaku, serta sumber daya untuk tempat tinggal dan reproduksi. Pengetahuan mengenai relung ekologi suatu spesies berdasarkan kebutuhan habitat sangat penting untuk memprediksi distribusi geografi suatu spesies. Konsep ini sangat relevan digunakan pada pembelajaran biogeografi dan makroekologi (Polechiva & Storch, 2017).

b. Konsep Relung Ekologi Eltonian

Konsep relung ekologi Eltonian menyatakan bahwa relung ekologi suatu hewan berarti tempat hidup dalam lingkungan biotik dan hubungannya dengan makan dan lawan (Khatibi & Sheikholeslami, 2016). Konsep relung ekologi Eltonian disampaikan oleh Charles Elton dalam karyanya *Animal Ecology*, yang berfokus pada hubungan trofik, yaitu rantai makanan, hubungan antara ukuran organisme dengan ukuran makanan, relung ekologi suatu organisme, dan piramida angka. Relung diartikan sebagai posisi spesies dalam rantai trofik (herbivora, karnivora, dan lain-lain) (Elton, 1971). Pada konsep ini, spesies memiliki peranan khusus dalam ekosistem dan dinamikanya (relung ekologi fungsional), sehingga konsep ini relevan dengan pembelajaran ekologi ekosistem (Polechiva & Storch, 2017).

c. Konsep Relung Ekologi Hutchinson

Hutchinson menggambarkan relung ekologi sebagai ruang variabel lingkungan (biotik dan abiotik). Pada konsep ini, persyaratan hidup suatu organisme tidak hanya menyangkut satu atau dua dimensi (sumberdaya) tetapi terdiri atas banyak dimensi. Dimensi ini terdiri dari berbagai variabel, abiotik dan biotik, atau dapat juga direpresentasikan secara sederhana dari faktor fisik seperti temperatur dan intensitas cahaya, maupun secara lebih kompleks seperti tekstur tanah, kondisi medan, kompleksitas vegetasi, atau karakteristik lain. Menurut pandangan Hutchinson, relung ekologis bersifat dinamis, karena keberadaan satu spesies membatasi keberadaan spesies lain melalui persaingan antarspesies, sehingga mengubah posisi relung spesies tersebut dalam ruang multidimensi (Polechiva & Storch, 2017). Pada konsep Hurchinson, terdapat 2 prinsip relung, yaitu relung fundamental dan relung terealisasi.

3.2.2 Relung Fundamental (*Fundamental Niche*) dan Relung Terealisasi (*Realized Niche*)

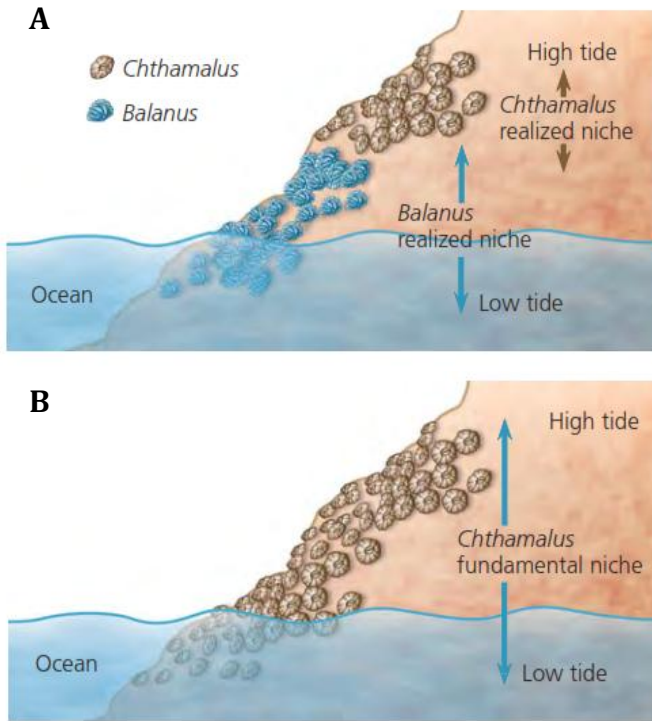
Pada prinsip relung Hutchinson, dua atau lebih spesies berbeda tidak dapat hidup bersama dalam satu komunitas jika mereka memperebutkan semua sumber daya yang sama persis. Sehingga dapat dikatakan bahwa tidak ada spesies berbeda yang hidup pada relung ekologi yang sama secara permanen. Adanya seleksi alam dalam proses evolusi menyebabkan spesies yang berbeda akan menggunakan sumber daya yang berbeda untuk bertahan hidup. Jika salah satu spesies tidak mampu berevolusi untuk mengurangi persaingan, maka spesies yang paling efisien akan mendorong spesies lain

menuju kepunahan (*Competitive Exclusion*) (Taylor *et al.*, 2017; Fowler *et al.*, 2023).

Jika spesies-spesies tersebut mampu berevolusi dan mengurangi adanya persaingan, maka akan memunculkan adanya perbedaan relung ekologi. Perbedaan ini memungkinkan spesies yang berbeda mampu hidup berdampingan pada komunitas yang sama, proses ini disebut pembagian sumber daya (*resource partitioning*). Hasil kompetisi ini memunculkan adanya relung ekologi fundamental (*Fundamental Niche*) dan relung ekologi terealisasi (*Realized Niche*).

Pada relung fundamental, suatu organisme dapat mengambil keuntungan dari semua faktor biotik dan abiotik dalam suatu ekosistem tanpa persaingan. Relung ini akan menyempit ketika terdapat organisme lain yang memaksa adanya kompetisi memperebutkan sumberdaya sehingga tercipta relung ekologi terealisasi. Contoh lebih jelas mengenai relung ekologi fundamental dan relung terealisasi dapat dilihat pada Gambar 6.

Pada gambar B, terlihat 1 spesies teritip (*Chthamalus* sp.) pada relung ekologi fundamentalnya, yang berada pada wilayah pasang (high tide) dan wilayah surut (low tide). Sementara pada gambar A, adanya spesies teritip lain (*Balanus* sp.), menyebabkan posisi relung ekologi terealisasi dari *Chthamalus* sp. hanya berada pada area pasang karena adanya proses kompetisi.



Gambar 3. 6 Relung Ekologi Fundamental dan Relung Terealisasi

(Sumber : Taylor *et al.*, 2017)

3.2.2 Spesies Spesialis dan Spesies Generalis

Organisme beradaptasi terhadap faktor abiotik dan biotik melalui proses seleksi alam dan memiliki relung fundamental dan relung terealisasinya masing-masing. Relung fundamental memiliki ukuran yang lebih luas dibandingkan relung terealisasi. Luas relung ini memunculkan istilah bagi spesies yang menempatnya.

a. Spesies spesialis

Spesies spesialis merupakan istilah untuk organisme yang hidup pada relung ekologi sempit karena hanya mampu berkembang dalam kondisi lingkungan tertentu.

b. Spesies generalis

Spesies generalis yaitu organisme yang mampu menempati relung ekologi yang lebih luas serta mampu memanfaatkan berbagai sumber daya dan dapat hidup di banyak kondisi lingkungan yang berbeda.

3.2.3 Evolusi Relung Ekologi

Terdapat dua tren berlawanan dalam evolusi lebar relung, yaitu (1) spesialisasi progresif (penyempitan relung) yang terjadi akibat dorongan kompetisi interspesifik dan optimasi intraspesifik; (2) pelepasan ekologi (ecological release) yaitu perluasan relung yang terjadi ketika spesies memasuki lingkungan baru tanpa kompetitor, memungkinkan pemanfaatan sumber daya yang lebih luas.

Relung spesies sering kali terbatas pada sebagian kecil sumber daya yang bervariasi secara spasial dikarenakan oleh (1) swamping gene flow dari populasi pusat ke daerah marginal menciptakan umpan balik positif antara penurunan kebugaran dan erosi variasi genetik; (2) jika variasi genetik lokal terlalu rendah, adaptasi kontinu terhadap lingkungan yang bervariasi secara spasial gagal terjadi; (3) reproduksi aseksual atau pembuahan sendiri memberikan keuntungan dalam beradaptasi ke kondisi marginal (Polechiva & Storch, 2017).

DAFTAR PUSTAKA

- Fowler, S., Roush, R., Wise, J. 2023. *Concepts of Biology*. Texas: OpenStax, Rice University.
- Taylor, M.R., Simon, E.J., Dickey, J.L., Hogan, K., Reece, J.B. 2017. *Campbell Biology Concepts & Connections Ninth Edition*. Boston: Pearson Education.
- Harris, E.P. 2023. *Abiotic Factors Influencing Aquatic Biomes*. [Online]. Tersedia pada <https://pressbooks.uwf.edu/envrioscience/chapter/3-4-aquatic-biomes/>
- IUCN. 2012. *Habitat Classification Scheme*. [Online]. Tersedia pada <https://www.iucnredlist.org/resources/habitat-classification-scheme>
- Khatibi, M., Sheikholeslami, R. 2016. Ecological Niche Theory: A brief review. *The International Journal of Indian Psychology* 3(2): 42-45.
- Lowman, M.D., Rinker, H.B. 2004. *Forest Canopies (2nd ed.)*. Academic Press.
- Maknun, D. 2017. *Ekologi: Populasi, Komunitas Ekosistem, Mewujudkan Kampus Hijau, Asri, Islami, dan Ilmiah*. Cirebon: Nurjati Press.
- Polechova, J., Storch, D. 2017. *Encyclopedia of Ecology (3rd ed.)*. Oxford: Elsevier.
- Sibarani, M.C., Utoyo, L., Wandono, H., Danus, M.A., Subki, Sugiharti, T., Ardiantiono, Surahmat, F., Suyadi, Kusumastuti, A.K., Immanuella, E.L., Pratama, R.D. 2020. *Stasiun Penelitian Way Canguk: Dua Dekade Ekologi Hutan Hujan Dataran Rendah Sumatera*. Kotaagung: BBTNBBBS & WCS-IP.

- Sumarto, S., Koneri, R. 2016. *Ekologi Hewan*. Bandung: CV. Patra Media Grafindo.
- Veecg, J.A. 2021. *Habitat Ecology and Analysis*. Oxford: Oxford University Press.
- WV DNR. 2026. *Habitat*. [Online]. Tersedia pada <https://wvdnr.gov/wp-content/uploads/2021/05/WYhabitat.pdf>

BAB 4

ADAPTASI DAN RESPON HEWAN

Oleh Ningsi Saibi

4.1 Konsep Dasar Adaptasi dan Respons Hewan

Hewan secara terus-menerus berinteraksi dengan lingkungannya dan menghadapi berbagai perubahan fisik, kimia, serta biologis yang memengaruhi kelangsungan hidup. Untuk bertahan, hewan harus peka terhadap perubahan lingkungan dan mampu menyesuaikan diri. Respons adalah tanggapan langsung terhadap perubahan lingkungan, sedangkan adaptasi merupakan penyesuaian jangka panjang. Kedua mekanisme ini sangat penting untuk memastikan kelangsungan hidup dan kemampuan hewan beradaptasi dengan habitatnya (Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, 2022).

Saat menghadapi perubahan lingkungan, hewan memberikan respons terhadap rangsangan yang diterima, baik dari dalam maupun luar tubuh. Contoh rangsangan meliputi perubahan suhu, cahaya, kelembapan, ketersediaan makanan, atau kehadiran predator. Respons yang tepat memungkinkan hewan menyesuaikan diri dan menjaga kondisi tubuh tetap optimal (Sherwood, L., Klandorf, H., & Yancey, 2013).

Adaptasi pada hewan adalah proses penyesuaian yang memungkinkan kelangsungan hidup dan reproduksi di lingkungan tertentu. Adaptasi meliputi perubahan morfologi, fisiologi, dan perilaku, yang membantu hewan menghadapi

tekanan lingkungan. Adaptasi biasanya terjadi bertahap selama banyak generasi melalui evolusi, sehingga individu yang paling sesuai dengan lingkungannya memiliki peluang bertahan hidup lebih besar. Dengan demikian, adaptasi merupakan mekanisme alami yang memungkinkan hewan hidup optimal di habitatnya (Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, 2022).

Menurut Hill *et al.* (2022) adaptasi merupakan salah satu tema utama dalam fisiologi hewan. Adaptasi menjelaskan perkembangan bentuk dan fungsi tubuh hewan untuk mendukung kelangsungan hidup di berbagai lingkungan. Adaptasi dapat berupa perubahan morfologi, seperti bentuk paruh atau alat gerak; perubahan fisiologi, seperti pengaturan suhu tubuh dan keseimbangan cairan; serta perubahan perilaku, seperti migrasi dan hibernasi. Ketiga jenis adaptasi ini saling mendukung dalam mempertahankan homeostasis dan meningkatkan peluang hidup hewan.

Respons pada hewan merupakan reaksi langsung terhadap rangsangan lingkungan, baik dari dalam maupun luar tubuh. Respons umumnya terjadi dengan cepat dan dapat kembali ke kondisi semula setelah rangsangan hilang. Sebagai contoh, perubahan suhu, cahaya, kelembapan, ketersediaan makanan, atau ancaman predator akan dideteksi oleh sistem sensorik hewan, yang kemudian mengaktifkan reaksi fisiologis atau perubahan perilaku. Tujuan utama respons ini adalah menjaga keseimbangan dan kestabilan tubuh (homeostasis) (Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A. S., Mooney, R. D., & White, 2018; Sherwood, L., Klandorf, H., & Yancey, 2013).

Dalam fisiologi hewan, respons merupakan mekanisme penting yang memungkinkan organisme menghadapi perubahan lingkungan secara cepat. Respons dapat berupa perubahan fisiologis, seperti peningkatan frekuensi respirasi saat suhu meningkat, maupun perubahan perilaku, seperti

mencari tempat teduh untuk menghindari panas. Berbeda dengan adaptasi yang diwariskan secara genetik, respons terjadi selama kehidupan individu dan umumnya tidak diwariskan kepada keturunan (Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, 2022).

Berdasarkan uraian tersebut, respons dan adaptasi merupakan dua mekanisme utama yang mendukung kelangsungan hidup hewan. Respons memungkinkan organisme bereaksi cepat terhadap perubahan lingkungan, sedangkan adaptasi merupakan hasil penyesuaian jangka panjang melalui proses evolusi. Kedua mekanisme tersebut bekerja secara sinergis dalam mempertahankan homeostasis, menghadapi tekanan lingkungan, dan meningkatkan keberhasilan reproduksi (Futuyma, D. J., & Kirkpatrick, 2017; Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, 2022).

Kemampuan hewan dalam memberikan respons sangat bergantung pada sistem pengendali tubuh. Sistem saraf dan sistem endokrin bekerja secara terintegrasi untuk mendeteksi, mengolah, dan menanggapi berbagai rangsangan. Reseptor sensorik menerima informasi dari lingkungan, kemudian meneruskannya ke pusat koordinasi untuk menghasilkan respons yang sesuai sehingga keseimbangan internal tubuh dapat dipertahankan (Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A. S., Mooney, R. D., & White, 2018).

4.2 Jenis-jenis Adaptasi Pada Hewan

Adaptasi merupakan proses penyesuaian organisme terhadap kondisi lingkungan yang memungkinkan individu untuk bertahan hidup, tumbuh, dan bereproduksi secara optimal. Dalam kajian fisiologi dan ekologi, adaptasi dipandang sebagai hasil seleksi alam yang menghasilkan karakteristik tertentu sehingga organisme lebih mampu menghadapi tekanan lingkungan. Adaptasi dapat terjadi pada

berbagai tingkatan organisasi biologis, mulai dari struktur tubuh, fungsi fisiologis, hingga pola perilaku yang mendukung kelangsungan hidup organisme (Futuyma, D. J., & Kirkpatrick, 2017; Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, 2022).

Secara umum, adaptasi pada hewan dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori utama, yaitu adaptasi morfologi, adaptasi fisiologi, dan adaptasi perilaku. Ketiga bentuk adaptasi tersebut saling melengkapi dalam membantu organisme menyesuaikan diri terhadap kondisi lingkungan yang dinamis. Melalui kombinasi berbagai bentuk adaptasi tersebut, hewan dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya, mengurangi risiko kematian, serta meningkatkan keberhasilan reproduksi (Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, 2021).

Adaptasi morfologi merupakan penyesuaian bentuk, ukuran, warna, maupun struktur tubuh organisme yang berkembang sebagai respons terhadap kondisi lingkungan tertentu. Adaptasi ini relatif mudah diamati karena tampak pada bagian luar tubuh hewan dan biasanya berkaitan dengan fungsi tertentu, seperti memperoleh makanan, menghindari predator, mempertahankan diri, atau meningkatkan kemampuan bergerak pada habitat tertentu (Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, 2022).

Perbedaan bentuk paruh pada berbagai jenis burung merupakan salah satu contoh adaptasi morfologi yang berkaitan erat dengan sumber makanan. Burung pemakan biji umumnya memiliki paruh yang pendek dan kuat untuk memecahkan biji-bijian, sedangkan burung pemakan nektar memiliki paruh panjang dan ramping yang memudahkan pengambilan nektar dari bunga. Variasi bentuk paruh tersebut menunjukkan hubungan antara struktur tubuh dan fungsi ekologis yang dijalankan oleh organisme (Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, 2021).

Selain bentuk paruh, adaptasi morfologi juga terlihat pada struktur alat gerak. Bebek memiliki kaki berselaput yang membantu meningkatkan efisiensi saat berenang, sedangkan ikan memiliki bentuk tubuh streamline yang mengurangi hambatan air sehingga memungkinkan pergerakan yang lebih cepat dan hemat energi. Karakteristik morfologis tersebut berkembang melalui proses evolusi sebagai bentuk penyesuaian terhadap habitat tempat organisme hidup (Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, 2022).

Warna dan pola tubuh juga merupakan bentuk adaptasi morfologi yang penting bagi kelangsungan hidup hewan. Beberapa spesies memiliki warna tubuh yang menyerupai lingkungan sekitarnya sehingga mampu melakukan kamuflase untuk menghindari predator atau mendekati mangsa tanpa terdeteksi. Adaptasi ini meningkatkan peluang bertahan hidup dan keberhasilan reproduksi individu dalam suatu populasi (Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, 2021; Futuyma, D. J., & Kirkpatrick, 2017).

Paruh burung elang yang tajam dan melengkung memudahkan proses mencabik daging mangsa, sedangkan burung kolibri memiliki paruh panjang dan ramping yang sesuai untuk memperoleh nektar dari bunga. Contoh-contoh tersebut menunjukkan bahwa perubahan struktur tubuh memiliki hubungan erat dengan kebutuhan hidup organisme dan kondisi lingkungan tempat organisme tersebut berkembang (Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, 2022).



Gambar 4. 1 Contoh Adaptasi Morfologi

4.2.1 Adaptasi Fisiologi

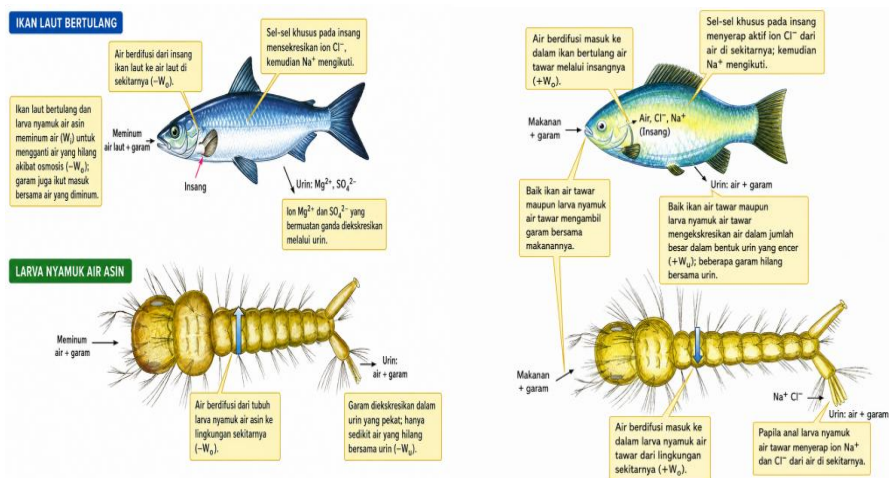
Adaptasi fisiologi merupakan penyesuaian fungsi organ, jaringan, atau sistem tubuh yang memungkinkan organisme mempertahankan kondisi internal yang stabil meskipun lingkungan mengalami perubahan. Berbeda dengan adaptasi morfologi yang tampak secara fisik, adaptasi fisiologi berlangsung pada tingkat proses biologis sehingga tidak mudah diamati secara langsung. Adaptasi ini berperan penting dalam mempertahankan homeostasis dan mendukung kelangsungan hidup organisme pada berbagai kondisi lingkungan (Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, 2022; Schmidt-Nielsen, 1997).

Salah satu contoh adaptasi fisiologi adalah kemampuan unta untuk bertahan hidup di lingkungan gurun yang kering dan panas. Unta mampu menghasilkan urin yang sangat pekat dan meminimalkan kehilangan air melalui berbagai mekanisme fisiologis sehingga dapat mempertahankan keseimbangan cairan tubuh meskipun berada pada kondisi kekurangan air dalam waktu yang lama. Kemampuan tersebut merupakan bentuk adaptasi yang sangat penting bagi kehidupan di lingkungan gurun (Schmidt-Nielsen, 1997).

Adaptasi fisiologi juga terlihat pada ikan laut yang hidup dalam lingkungan dengan konsentrasi garam lebih tinggi dibandingkan cairan tubuhnya. Untuk menjaga keseimbangan osmotik, ikan laut memiliki mekanisme osmoregulasi yang memungkinkan pengeluaran garam berlebih melalui insang dan ginjal. Mekanisme ini membantu menjaga kestabilan komposisi cairan tubuh sehingga fungsi fisiologis organisme tetap berjalan secara normal (Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, 2022).

Pada hewan yang hidup di daerah dingin, adaptasi fisiologi dapat berupa peningkatan laju metabolisme untuk menghasilkan panas tubuh yang lebih besar. Peningkatan metabolisme tersebut membantu mempertahankan suhu tubuh pada tingkat yang sesuai bagi aktivitas enzim dan proses fisiologis lainnya. Kemampuan mengatur produksi panas tubuh merupakan salah satu faktor penting yang memungkinkan organisme bertahan pada lingkungan bersuhu rendah (Gaughan *et al.*, 2019; Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, 2022).

Secara umum, adaptasi fisiologi menunjukkan bagaimana sistem tubuh organisme dapat berkembang untuk menghadapi berbagai tekanan lingkungan. Melalui mekanisme fisiologis yang kompleks, organisme mampu mempertahankan homeostasis dan meningkatkan peluang kelangsungan hidup pada berbagai habitat yang memiliki karakteristik lingkungan berbeda-beda (Schmidt-Nielsen, 1997).



Gambar 4. 2 Contoh Adaptasi Fisiologis

4.2.2 Adaptasi Perilaku

Adaptasi perilaku merupakan penyesuaian aktivitas atau pola tingkah laku yang membantu organisme menghadapi perubahan kondisi lingkungan. Adaptasi ini memberikan fleksibilitas yang tinggi karena dapat dilakukan tanpa memerlukan perubahan struktur tubuh maupun fungsi fisiologis yang bersifat permanen. Oleh karena itu, adaptasi perilaku sering menjadi mekanisme pertama yang digunakan organisme untuk menghadapi tantangan lingkungan (Breed, M. D., & Moore, 2016).

Perilaku hewan berkembang melalui proses evolusi karena memberikan keuntungan bagi kelangsungan hidup dan reproduksi individu. Organisme yang menunjukkan perilaku lebih efektif dalam memperoleh makanan, menghindari predator, atau menemukan pasangan reproduksi cenderung memiliki keberhasilan reproduksi yang lebih tinggi dibandingkan organisme lain dalam populasi yang sama (Alcock, 2013).

Migrasi merupakan salah satu bentuk adaptasi perilaku yang umum ditemukan pada berbagai spesies burung. Melalui migrasi, burung berpindah dari satu wilayah ke wilayah lain untuk memperoleh sumber makanan yang lebih melimpah atau kondisi iklim yang lebih sesuai bagi kelangsungan hidupnya. Perilaku ini memungkinkan organisme mengurangi tekanan lingkungan yang dapat menghambat pertumbuhan dan reproduksi (Breed, M. D., & Moore, 2016).

Hibernasi pada beruang merupakan contoh adaptasi perilaku yang berfungsi menghemat energi selama musim dingin ketika sumber makanan menjadi terbatas. Selama periode hibernasi, aktivitas metabolisme menurun secara signifikan sehingga kebutuhan energi organisme dapat dikurangi. Strategi ini memungkinkan hewan bertahan hidup hingga kondisi lingkungan kembali mendukung aktivitas normal (Alcock, 2013).

Contoh lain adaptasi perilaku adalah aktivitas nokturnal pada rubah fennec yang hidup di lingkungan gurun. Hewan ini lebih aktif pada malam hari ketika suhu lingkungan lebih rendah dibandingkan siang hari. Perilaku tersebut membantu mengurangi risiko kehilangan air dan mencegah stres panas yang dapat mengganggu fungsi fisiologis tubuh. Dengan demikian, adaptasi perilaku menjadi salah satu strategi penting yang memungkinkan organisme bertahan pada lingkungan yang ekstrem (Breed, M. D., & Moore, 2016; Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, 2022).



Gambar 4. 3 Contoh Adaptasi Perilaku

4.3 Jenis-Jenis Respon Pada Hewan

Respons pada hewan merupakan reaksi yang muncul sebagai akibat adanya perubahan kondisi lingkungan internal maupun eksternal. Kemampuan memberikan respons sangat penting bagi organisme karena memungkinkan individu mempertahankan homeostasis, memperoleh sumber daya, menghindari bahaya, dan menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan yang berlangsung secara terus-menerus. Respons tersebut dihasilkan melalui kerja terintegrasi antara sistem sensorik, sistem saraf, sistem endokrin, dan berbagai organ efektor yang menghasilkan reaksi sesuai dengan jenis rangsangan yang diterima (Breed, M. D., & Moore, 2016; Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A. S., Mooney, R. D., & White, 2018).

Dalam kajian fisiologi dan perilaku hewan, respons dapat diklasifikasikan berdasarkan mekanisme kerja, jenis rangsangan, maupun bentuk tanggapan yang dihasilkan. Beberapa bentuk respons yang umum ditemukan pada hewan meliputi respons fisiologis, respons perilaku, taksis, kinesis, respons refleks, dan respons hormonal. Masing-masing jenis respons memiliki karakteristik dan fungsi yang berbeda, namun seluruhnya berperan dalam meningkatkan kemampuan organisme untuk bertahan hidup dan beradaptasi dengan lingkungannya (Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, 2022).

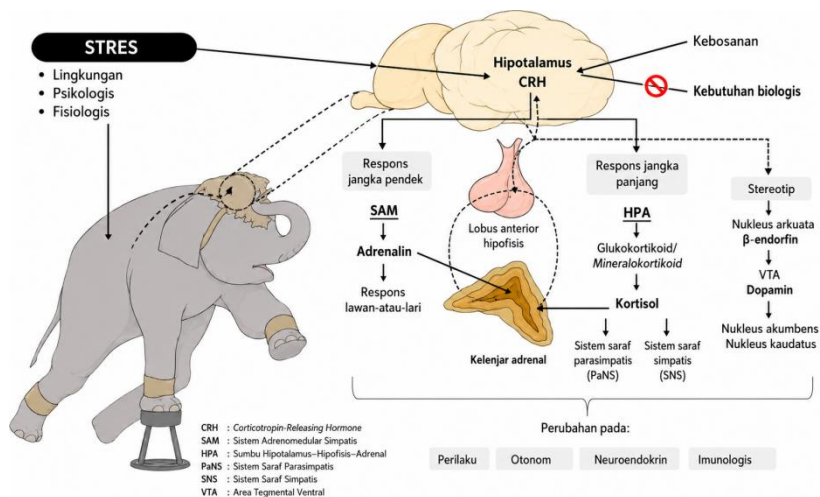
4.3.1 Respons Fisiologis

Respons fisiologis merupakan reaksi tubuh yang melibatkan perubahan fungsi organ, jaringan, atau sistem biologis sebagai akibat adanya rangsangan tertentu. Respons ini berlangsung secara otomatis dan umumnya dikendalikan oleh sistem saraf serta sistem endokrin untuk mempertahankan kestabilan kondisi internal tubuh. Tujuan utama respons fisiologis adalah menjaga homeostasis sehingga organisme dapat tetap berfungsi secara optimal meskipun terjadi perubahan lingkungan (Sherwood, L., Klandorf, H., & Yancey, 2013).

Salah satu contoh respons fisiologis terjadi ketika suhu lingkungan meningkat. Pada kondisi tersebut, berbagai hewan akan mengalami peningkatan frekuensi respirasi dan denyut jantung untuk membantu proses pelepasan panas tubuh. Pada mamalia, peningkatan suhu lingkungan juga dapat memicu pelebaran pembuluh darah perifer dan peningkatan penguapan air melalui keringat atau perilaku terengah-engah (panting) sebagai mekanisme termoregulasi untuk mempertahankan suhu tubuh tetap stabil (Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, 2022).

Respons fisiologis juga terjadi ketika organisme menghadapi kondisi stres atau ancaman. Dalam situasi tersebut, sistem neuroendokrin akan mengaktifkan pelepasan hormon stres, seperti kortisol dan adrenalin, yang membantu meningkatkan kesiapsiagaan tubuh dalam menghadapi gangguan lingkungan. Aktivasi respons stres memungkinkan organisme mengalokasikan energi secara lebih efektif untuk menghadapi kondisi yang mengancam kelangsungan hidupnya (Sherwood, L., Klandorf, H., & Yancey, 2013).

Secara keseluruhan, respons fisiologis merupakan mekanisme penting yang memungkinkan organisme mempertahankan keseimbangan internal tubuh secara cepat dan efisien. Melalui berbagai perubahan fungsi fisiologis, hewan dapat mengurangi dampak negatif perubahan lingkungan serta mempertahankan kondisi yang mendukung kelangsungan hidupnya (Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, 2022).



Gambar 4. 4 Contoh Respon Fisiologi

4.3.2 Respons Perilaku

Respons perilaku merupakan perubahan aktivitas atau pola tingkah laku yang muncul sebagai reaksi terhadap rangsangan tertentu. Respons ini termasuk salah satu bentuk tanggapan yang paling mudah diamati karena melibatkan perubahan gerakan atau aktivitas organisme secara langsung. Respons perilaku sering kali menjadi mekanisme pertama yang digunakan hewan untuk menghadapi perubahan lingkungan sebelum terjadi penyesuaian fisiologis yang lebih kompleks (Breed, M. D., & Moore, 2016).

Perilaku yang muncul sebagai respons terhadap rangsangan lingkungan umumnya memberikan keuntungan adaptif bagi organisme. Respons tersebut dapat membantu hewan memperoleh makanan, menghindari predator, mencari pasangan, mempertahankan wilayah, maupun meningkatkan keberhasilan reproduksi. Oleh karena itu, banyak bentuk perilaku berkembang melalui proses seleksi alam karena berkontribusi terhadap peningkatan peluang hidup individu (Alcock, 2013).

Salah satu contoh respons perilaku adalah tindakan rusa yang segera berlari ketika mendeteksi keberadaan predator. Respons tersebut memungkinkan individu mengurangi risiko predasi dan meningkatkan peluang untuk bertahan hidup. Respons serupa juga ditemukan pada berbagai spesies lain yang menunjukkan perilaku menghindar atau melarikan diri ketika menghadapi ancaman dari (Breed, M. D., & Moore, 2016).

Contoh lain respons perilaku adalah migrasi pada burung yang berpindah ke wilayah lain ketika kondisi lingkungan menjadi kurang mendukung. Migrasi memungkinkan organisme memperoleh sumber makanan yang lebih melimpah serta kondisi iklim yang

lebih sesuai untuk mempertahankan aktivitas hidup dan keberhasilan reproduksi. Perilaku ini menunjukkan bagaimana respons perilaku dapat membantu organisme menghadapi perubahan lingkungan dalam skala yang luas (Alcock, 2013).



Gambar 4. 5 Contoh Respon Perilaku

4.3.3 Respon Taksis (Taxis)

Taksis merupakan respons berupa gerakan terarah suatu organisme terhadap sumber rangsangan tertentu. Dalam respons ini, arah gerakan memiliki hubungan langsung dengan posisi sumber rangsangan sehingga organisme dapat bergerak mendekati rangsangan (taksis positif) atau menjauhinya (taksis negatif). Taksis banyak ditemukan pada hewan sederhana dan berbagai kelompok invertebrata yang mengandalkan petunjuk lingkungan untuk menentukan arah pergerakan (Scott, 2005).

Berdasarkan jenis rangsangannya, taksis dapat dibedakan menjadi beberapa bentuk, antara lain fototaksis yang dipicu oleh cahaya, kemotaksis yang dipicu oleh zat kimia, geotaksis yang dipengaruhi

gravitasi, dan termotaksis yang dipengaruhi perubahan suhu. Keberadaan berbagai bentuk taksis memungkinkan organisme memilih lingkungan yang paling sesuai bagi kelangsungan hidupnya (Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, 2021).

Sebagai contoh, beberapa jenis serangga menunjukkan fototaksis positif dengan bergerak menuju sumber cahaya pada malam hari. Sebaliknya, organisme tertentu dapat menunjukkan fototaksis negatif dengan menjauhi cahaya untuk menghindari risiko predasi atau kehilangan kelembapan. Respons ini menunjukkan bahwa taksis merupakan mekanisme penting yang membantu organisme menentukan posisi yang lebih menguntungkan di lingkungannya (Scott, 2005).



Gambar 4. 6 Contoh Respon Taksis

4.3.4 Respons Kinesis

Kinesis merupakan bentuk respons yang ditandai oleh perubahan kecepatan atau frekuensi gerakan sebagai akibat adanya rangsangan lingkungan. Berbeda dengan taksis, arah gerakan pada kinesis tidak berhubungan langsung dengan sumber rangsangan. Organisme bergerak secara relatif acak hingga menemukan kondisi lingkungan yang sesuai dengan kebutuhannya (Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, 2021).

Pada respons kinesis, intensitas rangsangan memengaruhi tingkat aktivitas organisme. Semakin tidak sesuai kondisi lingkungan yang dihadapi, semakin tinggi tingkat aktivitas gerak yang ditunjukkan. Sebaliknya, ketika organisme menemukan lingkungan yang lebih menguntungkan, aktivitas gerak akan menurun sehingga individu cenderung bertahan lebih lama pada lokasi tersebut (Scott, 2005).

Contoh kinesis dapat ditemukan pada kutu kayu (woodlouse) yang bergerak lebih aktif pada lingkungan kering dibandingkan lingkungan lembap. Peningkatan aktivitas tersebut meningkatkan peluang organisme menemukan habitat dengan kelembapan yang lebih sesuai untuk mempertahankan keseimbangan air tubuh. Dengan demikian, kinesis berperan penting dalam membantu organisme menemukan kondisi lingkungan yang optimal tanpa harus memiliki kemampuan menentukan arah sumber rangsangan secara langsung (Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, 2021).

4.3.5 Respons Refleks

Respons refleks merupakan reaksi yang berlangsung sangat cepat, otomatis, dan tidak memerlukan keterlibatan kesadaran organisme. Respons ini terjadi melalui suatu jalur saraf yang disebut lengkung refleks (reflex arc), yang melibatkan reseptor, neuron sensorik, interneuron, neuron motorik, dan organ efektor. Karena prosesnya berlangsung sangat cepat, respons refleks berfungsi sebagai mekanisme perlindungan terhadap berbagai ancaman yang dapat menyebabkan kerusakan tubuh (Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A. S., Mooney, R. D., & White, 2018).

Salah satu contoh respons refleks adalah penarikan anggota tubuh secara spontan ketika menyentuh benda panas. Pada kondisi tersebut, impuls saraf langsung diproses melalui sumsum tulang belakang tanpa menunggu pemrosesan sadar di otak sehingga respons dapat terjadi dalam waktu yang sangat singkat. Mekanisme ini memungkinkan organisme mengurangi risiko cedera akibat paparan rangsangan yang berbahaya (Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A. S., Mooney, R. D., & White, 2018).

Respons refleks memiliki nilai adaptif yang sangat tinggi karena meningkatkan kemampuan organisme dalam menghadapi ancaman mendadak. Kecepatan respons yang dihasilkan memungkinkan hewan melindungi tubuhnya dari berbagai sumber bahaya sebelum kerusakan yang lebih serius terjadi (Sherwood, L., Klandorf, H., & Yancey, 2013).

4.3.6 Respons Endokrin atau Hormonal

Selain melalui sistem saraf, hewan juga memberikan respons terhadap rangsangan melalui sistem endokrin. Sistem ini bekerja dengan melepaskan hormon ke dalam aliran darah untuk memengaruhi aktivitas berbagai organ target. Dibandingkan respons saraf, respons hormonal umumnya berlangsung lebih lambat, namun efek yang dihasilkan cenderung bertahan lebih lama dan memengaruhi berbagai fungsi tubuh secara luas (Sherwood, L., Klandorf, H., & Yancey, 2013).

Respons hormonal berperan penting dalam mengatur pertumbuhan, perkembangan, reproduksi, metabolisme, keseimbangan cairan, serta respons terhadap stres. Hormon memungkinkan berbagai organ tubuh bekerja secara terkoordinasi sehingga organisme mampu mempertahankan kondisi fisiologis yang sesuai dengan kebutuhan lingkungan yang dihadapinya (Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, 2022).

Salah satu contoh respons hormonal terjadi ketika organisme menghadapi ancaman atau stres. Dalam kondisi tersebut, sumbu hipotalamus–hipofisis–adrenal (HPA axis) akan diaktifkan sehingga memicu pelepasan hormon kortisol. Hormon ini membantu mengatur penggunaan energi, meningkatkan kesiapan fisiologis tubuh, dan mendukung kemampuan organisme dalam menghadapi tekanan lingkungan yang sedang berlangsung (Sherwood, L., Klandorf, H., & Yancey, 2013).

Secara keseluruhan, respons hormonal merupakan komponen penting dalam sistem regulasi tubuh hewan. Melalui kerja hormon yang terkoordinasi, organisme mampu melakukan penyesuaian fisiologis jangka pendek maupun jangka panjang untuk mempertahankan homeostasis dan meningkatkan peluang kelangsungan

hidup pada berbagai kondisi lingkungan (Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, 2022; Sherwood, L., Klandorf, H., & Yancey, 2013).

DAFTAR PUSTAKA

- Alcock, J. (2013). *Animal Behavior: An Evolutionary Approach (10th ed.)* (10th ed.). Sinauer Associates.
- Breed, M. D., & Moore, J. (2016). *Animal Behavior (2nd ed.)* (2nd ed.). Academic Press.
- Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, R. B. (2021). *Campbell Biology (12th ed.)* (12th ed.). Pearson.
- Futuyma, D. J., & Kirkpatrick, M. (2017). *Evolution (4th ed.)* (4th ed.). Sinauer Associates.
- Gaughan, J. B., Sejian, V., Mader, T. L., & Dunshea, F. R. (2019). Adaptation strategies: ruminants. *Animal Frontiers*, 9(1), 47–53. <https://doi.org/10.1093/af/vfy029>
- Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M., & Anderson, M. (2022). *Animal Physiology*. Oxford University Pres.
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A. S., Mooney, R. D., & White, L. E. (2018). *Neuroscience (6th ed.)* (6th ed.). Oxford University Press.
- Schmidt-Nielsen, K. (1997). *Animal Physiology: Adaptation and Environment (5th ed.)* (5th ed.). Cambridge University Press.
- Scott, G. (2005). *Essential Animal Behavior*. Blackwell Publishin.
- Sherwood, L., Klandorf, H., & Yancey, P. H. (2013). *nimal Physiology: From Genes to Organisms (2nd ed.)* (2nd ed.). Brooks/Cole.

BAB 5

PERTUMBUHAN DAN ESTIMASI POPULASI IKAN

Oleh Nuraeni L. Rapi

Ikan merupakan salah satu sumber daya hayati perairan yang memiliki nilai ekologis dan ekonomis yang sangat tinggi. Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia memiliki potensi sumber daya ikan yang sangat besar, baik di perairan laut maupun perairan darat. Produksi perikanan nasional terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, dengan total produksi mencapai 26,0 juta ton pada periode 2023-2024, naik dari 25,2 juta ton pada tahun 2022 (Rahmalia *et al.*, 2026).

Pengelolaan sumber daya ikan secara berkelanjutan membutuhkan pemahaman mendalam tentang biologi dan dinamika populasi ikan. Dua aspek terpenting dalam kajian dinamika populasi ikan adalah pertumbuhan (*growth*) dan estimasi populasi (*population estimation*). Pertumbuhan ikan mencerminkan bagaimana organisme bertambah dalam ukuran dan massa tubuhnya seiring waktu, sementara estimasi populasi bertujuan untuk menduga besarnya stok ikan yang tersedia di suatu perairan guna mendukung pengambilan kebijakan pengelolaan yang tepat.

Kajian mengenai pertumbuhan dan estimasi populasi ikan telah berkembang pesat sejak diperkenalkannya model pertumbuhan Von Bertalanffy oleh Ludwig von Bertalanffy pada tahun 1938. Model ini hingga kini masih menjadi

standar utama dalam analisis biologi perikanan karena kemampuannya mendeskripsikan pola pertumbuhan ikan secara matematis dengan parameter yang dapat diinterpretasikan secara biologis. Berbagai penelitian terbaru di Indonesia telah menerapkan model ini pada berbagai spesies ikan ekonomis penting, seperti ikan layang (*Decapterus* sp.), tongkol (*Euthynnus affinis*), tenggiri (*Scomberomorus commerson*), cakalang (*Katsuwonus pelamis*), dan gabus (*Channa striata*).

Selain pertumbuhan, aspek mortalitas dan laju eksploitasi merupakan komponen vital dalam estimasi populasi. Ketidakseimbangan antara laju rekrutmen dan laju mortalitas akibat penangkapan yang berlebihan (*overfishing*) dapat mengancam keberlanjutan stok ikan. Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif tentang pertumbuhan dan estimasi populasi ikan menjadi sangat krusial dalam mendukung pengelolaan perikanan yang bertanggung jawab dan berkelanjutan.

Makalah ini bertujuan untuk mengulas secara sistematis konsep pertumbuhan dan estimasi populasi ikan, metode-metode yang digunakan dalam analisisnya, serta menyajikan hasil-hasil penelitian terbaru sebagai referensi ilmiah yang valid dan relevan, dengan fokus utama pada spesies-spesies ikan yang memiliki kepentingan ekonomi dan ekologi di perairan Indonesia.

5.1 Konsep Pertumbuhan Ikan

Pertumbuhan ikan didefinisikan sebagai perubahan ukuran (panjang atau berat) maupun volume tubuh organisme dalam satuan waktu tertentu. Pertumbuhan merupakan fungsi dari faktor internal (genetik, hormonal) dan faktor eksternal (suhu, ketersediaan pakan, kualitas air, kepadatan populasi). Secara umum, pertumbuhan ikan dipengaruhi oleh dua proses metabolisme utama, yaitu

anabolisme (sintesis materi organik) dan katabolisme (pemecahan materi organik untuk menghasilkan energi).

5.1.1 Pertumbuhan Panjang dan Berat

Pertumbuhan ikan dapat diukur melalui dua parameter utama, yaitu pertumbuhan panjang dan pertumbuhan berat. Pertumbuhan panjang dianalisis berdasarkan data sebaran frekuensi panjang yang dikumpulkan dari populasi sampel, sedangkan pertumbuhan berat sering dikaitkan dengan pertumbuhan panjang melalui hubungan panjang-berat (length-weight relationship). Hubungan panjang-berat ikan umumnya dinyatakan dalam persamaan pangkat sebagai berikut:

$$W = a \cdot L^b$$

di mana W adalah berat ikan (gram), L adalah panjang ikan (cm), a adalah konstanta (intersep), dan b adalah koefisien pertumbuhan alometri. Nilai b secara biologis mencerminkan pola pertumbuhan: $b = 3$ menunjukkan pertumbuhan isometrik (panjang dan berat tumbuh proporsional), $b < 3$ menunjukkan pertumbuhan allometrik negatif (panjang tumbuh lebih cepat dari berat), dan $b > 3$ menunjukkan pertumbuhan allometrik positif (berat tumbuh lebih cepat dari panjang).

Penelitian Jesila *et al.* (2023) pada ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) di Pelabuhan Perikanan Sungai Rengas, Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat, menemukan persamaan hubungan panjang-berat $W = 0,0918L^{2,592}$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,853. Nilai $b = 2,592$ mengindikasikan pola pertumbuhan allometrik negatif, di mana pertumbuhan panjang ikan lebih dominan dibandingkan pertumbuhan beratnya. Kondisi serupa juga ditemukan pada ikan

tenggiri (*Scomberomorus commerson*) dengan nilai $b = 2,49$ yang juga bersifat allometrik negatif (Suwardi *et al.*, 2023).

5.1.2 Model Pertumbuhan Von Bertalanffy

Model pertumbuhan Von Bertalanffy (VBGF - Von Bertalanffy Growth Function) merupakan model matematis yang paling banyak digunakan dalam kajian dinamika populasi ikan. Model ini didasarkan pada asumsi bahwa laju pertumbuhan ikan sebanding dengan perbedaan antara panjang asimptotik (panjang maksimum teoretis) dan panjang aktual ikan pada suatu waktu. Persamaan pertumbuhan Von Bertalanffy dinyatakan sebagai berikut:

$$L_t = L_{\infty} \cdot (1 - e^{-k \cdot (T - t_0)})$$

di mana L_t adalah panjang ikan pada umur t (cm), L_{∞} adalah panjang asimptotik (panjang maksimum yang dapat dicapai secara teoretis, cm), K adalah koefisien laju pertumbuhan (tahun^{-1}), dan t_0 adalah umur teoritis saat panjang ikan sama dengan nol (tahun).

Parameter-parameter dalam model Von Bertalanffy memiliki makna biologis yang penting. Nilai L_{∞} yang besar mengindikasikan bahwa spesies tersebut dapat mencapai ukuran tubuh yang besar, sedangkan nilai K yang tinggi menunjukkan bahwa ikan tumbuh relatif cepat mendekati panjang asimptotiknya. Nilai t_0 umumnya bernilai negatif karena merupakan nilai ekstrapolasi belaka.

Berbagai penelitian terkini di Indonesia menunjukkan parameter pertumbuhan Von Bertalanffy yang bervariasi antar spesies. Penelitian Pit'ay *et al.* (2022) pada ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di Perairan Teluk Kupang, Nusa Tenggara Timur, memperoleh parameter pertumbuhan $L_{\infty} = 50,67$ cm, K

= 0,51 per tahun, dan $t_0 = -0,25$ tahun. Sementara itu, penelitian Fuah *et al.* (2024) pada ikan layang (Decapterus sp.) di PPN Sibolga menggunakan metode yang sama untuk mengestimasi parameter pertumbuhan dari 200 sampel dengan kisaran panjang 17,8-32,2 cm.

Penelitian internasional oleh Al-Baz *et al.* (2024) pada ikan lidah (Cynoglossus quadrilineatus) di sepanjang pesisir Makran memperoleh parameter $L_{\infty} = 33,32$ cm, $K = 0,55 \text{ tahun}^{-1}$, dengan $t_0 = 0,04$ tahun. Studi ini menyimpulkan bahwa model VBGF merupakan model terbaik dalam menganalisis pola pertumbuhan ikan pada berbagai lokasi dan musim yang berbeda, karena kemampuan prediktifnya yang superior dalam mendeskripsikan perubahan ukuran tubuh antar subpopulasi (Al-Baz *et al.*, 2024).

Tabel 5. 1 Parameter Pertumbuhan Von Bertalanffy Beberapa Spesies Ikan Ekonomis Penting

Spesies Ikan	L_{∞} (cm)	K (tahun^{-1})	t_0 (tahun)	Pola Tumbuh	Sumber
Cakalang (Katsuwonus pelamis)	50,67	0,51	-0,25	Allometrik -	Pit'ay <i>et al.</i> (2022)
Tongkol (Euthynnus affinis)	56,50	0,70	-0,714	Allometrik -	Jesila <i>et al.</i> (2023)
Tenggiri (Scomberomorus commerson)	-	0,60	-	Allometrik -	Suwardi <i>et al.</i> (2023)

Spesies Ikan	L_{∞} (cm)	K (tahun^{-1})	t_0 (tahun)	Pola Tumbuh	Sumber
Sembilang (Plotosus canius)	65,63	0,94	-	Allometrik -	Tite <i>et al.</i> (2025)
Gabus (Channa striata)	60,32	0,71	-0,14	Isometrik	Fitria <i>et al.</i> (2020)
Tongue sole (Cynoglossus quadrilineatus)	33,32	0,55	0,04	Allometrik -	Al-Baz <i>et al.</i> (2024)

Sumber: Diolah dari berbagai jurnal terbaru (2020-2025)

5.2 Estimasi Populasi Ikan

Estimasi populasi ikan merupakan proses pendugaan jumlah atau biomassa ikan yang tersedia di suatu perairan. Informasi ini sangat penting untuk menentukan potensi maksimum yang dapat dipanen secara lestari (Maximum Sustainable Yield/MSY) tanpa mengancam keberlanjutan stok. Estimasi populasi ikan mencakup analisis mortalitas, laju rekrutmen, dan laju eksploitasi.

5.2.1 Mortalitas Ikan

Mortalitas merupakan salah satu komponen utama dalam dinamika populasi ikan. Mortalitas total (Z) terdiri dari dua komponen utama: mortalitas alami (M) yang disebabkan oleh predasi, penyakit, dan faktor lingkungan, serta mortalitas penangkapan (F) yang

disebabkan oleh aktivitas penangkapan manusia. Hubungan ketiga parameter ini dinyatakan sebagai:

$$Z = M + F$$

Laju eksploitasi (E) kemudian dihitung sebagai rasio antara mortalitas penangkapan terhadap mortalitas total: $E = F/Z$. Nilai $E = 0,5$ umumnya dianggap sebagai kondisi eksploitasi optimal, di mana nilai di bawah 0,5 menunjukkan kondisi underfishing dan di atas 0,5 menunjukkan overfishing.

Penelitian Jesila *et al.* (2023) pada ikan tongkol di Pelabuhan Perikanan Sungai Rengas memperoleh laju mortalitas total $Z = 1,65$ per tahun, mortalitas alami $M = 1,21$ per tahun, mortalitas penangkapan $F = 0,44$ per tahun, dan laju eksploitasi $E = 0,27$. Nilai ini menunjukkan bahwa tingkat eksploitasi ikan tongkol di wilayah tersebut masih berada di bawah optimum (underfishing), sehingga masih terdapat ruang untuk meningkatkan upaya penangkapan secara terkontrol.

Hasil serupa juga dilaporkan oleh Pit'ay *et al.* (2022) pada ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di Perairan Teluk Kupang dengan $Z = 1,13$ per tahun, $M = 0,99$ per tahun, $F = 0,14$ per tahun, dan $E = 0,12$ per tahun. Nilai laju eksploitasi yang sangat rendah ini mengindikasikan bahwa ikan cakalang di perairan tersebut belum dieksploitasi secara maksimal, sehingga masih memiliki potensi pengembangan yang besar.

Sebaliknya, kondisi yang lebih memprihatinkan ditunjukkan oleh penelitian Suwardi *et al.* (2023) pada ikan tenggiri di Pelabuhan Perikanan Sungai Rengas, dengan mortalitas total $Z = 1,42$ per tahun dan laju eksploitasi $E = 0,32$ per tahun. Meskipun angka ini masih menunjukkan kondisi underfishing, tren penurunan hasil tangkapan dari 113.826 ton pada tahun 2018

menjadi 66.318 ton pada tahun 2021 mengindikasikan tekanan penangkapan yang semakin meningkat.

Tabel 5. 2 Parameter Mortalitas dan Laju Eksploitasi Beberapa Spesies Ikan di Indonesia

Spesies Ikan	Z (th ⁻¹)	M (th ⁻¹)	F (th ⁻¹)	E	Status & Sumber
Cakalang (K. pelamis)	1,13	0,99	0,14	0,12	Underfishing; Pit'ay <i>et al.</i> (2022)
Tongkol (E. affinis)	1,65	1,21	0,44	0,27	Underfishing; Jesila <i>et al.</i> (2023)
Tenggiri (S. commerson)	1,42	0,97	0,45	0,32	Underfishing; Suwardi <i>et al.</i> (2023)
Sembilang (P. canius)	2,65	1,33	1,32	0,50	Optimal; Tite <i>et al.</i> (2025)

Sumber: Diolah dari berbagai jurnal terbaru (2022-2025)

5.2.2 Metode Analisis Stok Ikan

Dalam analisis stok ikan, terdapat beberapa pendekatan metodologis yang umum digunakan, yaitu pendekatan analitik dan pendekatan holistik (Tuapetel, 2019). Pendekatan analitik berbasis data biologi ikan (panjang, berat, umur) dan memanfaatkan model-model pertumbuhan untuk menduga biomassa serta potensi tangkapan. Pendekatan holistik (surplus produksi) menggunakan data catch dan effort tanpa mempertimbangkan struktur umur populasi.

Analisis berbasis panjang menggunakan perangkat lunak FISAT II (FAO-ICLARM Stock Assessment Tools) merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam penelitian dinamika populasi ikan di Indonesia. FISAT II menyediakan berbagai modul analisis, termasuk estimasi parameter pertumbuhan menggunakan metode ELEFAN (Electronic Length-Frequency Analysis), analisis mortalitas menggunakan kurva penurunan tangkapan (catch curve), dan analisis rekrutmen.

Penelitian Fuah *et al.* (2024) pada ikan layang di PPN Sibolga menggunakan pendekatan ini dengan mengumpulkan 200 sampel ikan dengan kisaran panjang 17,8-32,2 cm. Analisis dengan FISAT II menghasilkan parameter pertumbuhan Von Bertalanffy yang selanjutnya digunakan untuk menduga laju mortalitas dan tingkat eksploitasi stok ikan layang di wilayah tersebut.

5.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan dan Populasi Ikan

Pertumbuhan dan dinamika populasi ikan dipengaruhi oleh kombinasi faktor biotik dan abiotik yang saling berinteraksi secara kompleks. Pemahaman tentang faktor-faktor ini sangat penting dalam konteks pengelolaan perikanan yang berkelanjutan.

5.3.1 Faktor Biotik

Faktor biotik yang berpengaruh terhadap pertumbuhan ikan meliputi: (1) ketersediaan dan kualitas pakan, yang merupakan sumber energi utama bagi pertumbuhan jaringan tubuh; (2) kompetisi intraspesifik dan interspesifik untuk mendapatkan sumber daya; (3) predasi yang memengaruhi

kelangsungan hidup individu dalam populasi; (4) penyakit dan parasit yang dapat menghambat pertumbuhan dan meningkatkan mortalitas; serta (5) reproduksi, di mana energi yang digunakan untuk gonadogenesis mengurangi energi yang tersedia untuk pertumbuhan somatik.

Penelitian Jurnal Perikanan Tropis (2026) pada benih ikan garing menunjukkan bahwa pada fase awal (hari ke-0 hingga ke-15), respons pertumbuhan antar perlakuan belum menunjukkan perbedaan signifikan ($p > 0,05$), yang mengindikasikan adanya fase adaptasi. Namun memasuki hari ke-30 hingga ke-45, perbedaan perlakuan mulai menampilkan pengaruhnya terhadap pertumbuhan, dengan koefisien variasi bobot dan panjang yang meningkat secara konsisten.

5.3.2 Faktor Abiotik

Faktor abiotik yang memengaruhi pertumbuhan dan dinamika populasi ikan meliputi suhu perairan, salinitas, pH, oksigen terlarut, kedalaman, dan arus perairan. Suhu memiliki pengaruh yang paling signifikan karena memengaruhi laju metabolisme dan aktivitas enzimatik. Pada suhu optimal, metabolisme berjalan efisien sehingga pertumbuhan ikan lebih cepat.

Variasi parameter lingkungan juga dapat memengaruhi distribusi dan kelimpahan populasi ikan. Pada ikan layang, variasi musiman dalam kondisi oseanografi (suhu permukaan laut, klorofil-a) berpengaruh terhadap pola rekrutmen dan distribusi spasial populasi (Fuah *et al.*, 2024). Perubahan iklim yang menyebabkan peningkatan suhu laut dan pergeseran pola oseanografi turut berdampak pada perubahan distribusi dan kelimpahan stok ikan di berbagai wilayah perairan.

5.3.3 Tekanan Penangkapan

Tekanan penangkapan merupakan faktor antropogenik yang memberikan dampak paling langsung terhadap dinamika populasi ikan. Penangkapan yang berlebihan (overfishing) dapat menyebabkan penurunan ukuran rata-rata ikan yang tertangkap, pergeseran struktur umur populasi ke arah individu yang lebih muda, penurunan biomassa total stok, dan dalam kasus ekstrim dapat menyebabkan penurunan populasi mendekati kondisi kritis.

Data KKP (2025) menunjukkan tren penurunan CPUE (Catch Per Unit Effort) pada beberapa komoditas utama selama periode 2020-2024, dengan fluktuasi peningkatan sementara pada tahun 2022 yang kemungkinan dipengaruhi oleh variasi musiman dan perubahan intensitas operasi penangkapan. Penurunan CPUE yang berkelanjutan merupakan indikator kuat adanya tekanan penangkapan yang berpotensi mengancam keberlanjutan stok ikan (KKP, 2025).

5.4 Metode Estimasi Populasi Lanjutan

Perkembangan metodologi estimasi populasi ikan terus mengalami kemajuan yang signifikan. Selain metode konvensional berbasis frekuensi panjang, berbagai pendekatan modern telah dikembangkan untuk meningkatkan akurasi dan keandalan hasil estimasi.

5.3.1 Metode Mark-Recapture

Metode mark-recapture (tangkap-tandai-lepas-tangkap kembali) merupakan salah satu metode estimasi populasi yang populer digunakan. Prinsip dasar metode ini adalah Lincoln-Petersen Index, yang menyatakan bahwa proporsi ikan bertanda dalam tangkapan kedua

mencerminkan proporsi ikan bertanda dalam populasi total. Metode ini juga dapat dikombinasikan dengan model pertumbuhan Von Bertalanffy untuk menghasilkan estimasi kurva pertumbuhan yang lebih akurat (Campbell & Phillips, 1972).

Model pertumbuhan Von Bertalanffy yang dikombinasikan dengan data mark-recapture memungkinkan estimasi parameter pertumbuhan yang lebih akurat, terutama untuk spesies yang sulit ditentukan umurnya secara langsung. Data yang digunakan umumnya berupa pasangan panjang saat pelepasan dan panjang saat penangkapan kembali, beserta interval waktu antara keduanya.

5.3.2 Pendekatan Bayesian

Pendekatan Bayesian dalam analisis pertumbuhan ikan telah berkembang pesat sebagai alternatif metodologi yang lebih fleksibel dibandingkan pendekatan frekuentis konvensional. Metode ini memungkinkan integrasi pengetahuan prior (informasi dari penelitian sebelumnya) dengan data yang dikumpulkan untuk menghasilkan distribusi posterior parameter pertumbuhan. Keunggulan utama pendekatan Bayesian adalah kemampuannya untuk menangkap ketidakpastian parameter secara eksplisit dan lebih robust terhadap ukuran sampel yang terbatas (Hightower, 2020).

5.5 Kondisi dan Perkembangan Perikanan Indonesia

Indonesia merupakan salah satu negara produsen ikan terbesar di dunia. Sektor perikanan nasional terus menunjukkan pertumbuhan yang signifikan dalam beberapa

tahun terakhir. Menurut data KKP (2025), produksi perikanan nasional menunjukkan tren peningkatan dari 23,0 juta ton pada tahun 2018 menjadi 26,0 juta ton pada periode 2023-2024. Nilai ekspor hasil perikanan juga meningkat signifikan dari USD 4,5 miliar pada tahun 2018 menjadi USD 7,2 miliar pada tahun 2023-2024.

Komoditas ekspor utama yang memberikan kontribusi terbesar terhadap pertumbuhan adalah Tuna-Tongkol-Cakalang yang tumbuh sebesar 23,13 persen, diikuti udang yang tumbuh sebesar 13,26 persen pada Triwulan I-2025 dibandingkan periode yang sama tahun sebelumnya (KKP, 2025). Namun pertumbuhan produksi ini belum sepenuhnya sejalan dengan indikator keberlanjutan SDGs 14 karena peningkatan volume penangkapan sering belum diimbangi dengan penerapan prinsip perikanan berkelanjutan (Rahmalia *et al.*, 2026).

Kondisi ini menegaskan pentingnya kajian pertumbuhan dan estimasi populasi ikan yang akurat sebagai basis ilmiah bagi pengelolaan perikanan yang berkelanjutan. Pengelolaan berbasis sains (*science-based fisheries management*) yang memanfaatkan data pertumbuhan dan estimasi populasi ikan dapat membantu mengoptimalkan produksi perikanan sekaligus menjaga kelestarian sumber daya ikan jangka panjang.

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan penting dapat ditarik sebagai berikut:

- Pertumbuhan ikan dapat dianalisis secara kuantitatif melalui model Von Bertalanffy, yang menghasilkan parameter penting berupa panjang asimptotik (L_{∞}), koefisien laju pertumbuhan (K), dan umur teoretis awal (t_0). Parameter-parameter ini bervariasi antar spesies dan mencerminkan strategi pertumbuhan yang berbeda.
- Hubungan panjang-berat pada berbagai spesies ikan ekonomis penting di Indonesia umumnya bersifat

allometrik negatif, menunjukkan pertumbuhan panjang lebih dominan dibandingkan pertumbuhan berat. Kondisi ini dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan tekanan penangkapan.

- Estimasi populasi ikan melalui analisis mortalitas menunjukkan bahwa beberapa spesies penting di Indonesia (tongkol, tenggiri, cakalang) masih berada dalam kondisi underfishing dengan nilai $E < 0,5$. Namun tren penurunan CPUE yang terdeteksi menjadi peringatan akan tekanan penangkapan yang perlu diawasi.
- Faktor biotik, abiotik, dan antropogenik (tekanan penangkapan) secara bersama-sama memengaruhi pertumbuhan dan dinamika populasi ikan. Pengelolaan perikanan yang efektif harus mempertimbangkan ketiga faktor ini secara terintegrasi.
- Pengembangan metodologi estimasi populasi ikan, termasuk pendekatan Bayesian dan teknologi penginderaan jauh, membuka peluang besar untuk meningkatkan akurasi pengelolaan sumber daya ikan di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Baz, A., Al-Hazza, T., & Al-Ghubaish, A. (2024). Spatial and seasonal variations in the growth of the populations of tongue sole fish (*Cynoglossus quadrilineatus* Bleeker, 1851) along four different stations of Makran coast by using the Von Bertalanffy model. *Journal of King Saud University – Science*. <https://jksus.org/spatial-and-seasonal-variations>.
- Campbell, N. A., & Phillips, B. F. (1972). The Von Bertalanffy Growth Curve and Its Application to Capture-Recapture Data in Fisheries Biology. *ICES Journal of Marine Science*, 34(2), 295–299. <https://doi.org/10.1093/icesjms/34.2.295>.
- Effendie, M. I. (2002). *Biologi Perikanan*. Yayasan Pustaka Nusantara, Yogyakarta.
- Fitria, S., Djumanto, & Rustadi. (2020). Estimating the spawning and growth of striped snakehead *Channa striata* Bloch, 1793 in Lake Rawa Pening Indonesia. *Scientific Reports*, 10, 19899. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76965-y>.
- Fuah, R. W., Rahayu, R., Muna, Z., Mardhatillah, I., Nurhayati, N., & Vicana Pandang, I. (2024). Dinamika populasi ikan layang yang didaratkan di Sibolga. *Jurnal Marshela (Marine and Fisheries Tropical Applied Journal)*, 2(2), 66–77. <https://doi.org/10.25181/marshela.v2i2.3670>.
- Gulland, J. A. (1983). *Fish Stock Assessment: A Manual of Basic Methods*. John Wiley & Sons, Chichester.

- Hightower, J. E. (2020). A Bayesian Introduction to Fish Population Analysis. CRC Press / Bookdown. https://bookdown.org/Joseph_Hightower/bayesianfish/
- Jesila, J., Kurniawan, & Rahman, A. (2023). Dinamika Populasi Ikan Tongkol (*Euthynnus affinis*) yang didaratkan di Pelabuhan Perikanan Sungai Rengas, Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Sains Pertanian Equator*, 12(3), 1–12. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jspp/article/view/66492>.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP). (2025). Rilis Data Kelautan dan Perikanan Triwulan I 2025. Jakarta: KKP.
- Pauly, D. (1984). Dinamika Populasi Ikan di Perairan Tropis: Panduan untuk Digunakan dengan Kalkulator yang Dapat Diprogram. *ICLARM Studies and Reviews* 8, Manila.
- Pit'ay, E. R., Patuwo, P., & Tefa, A. (2022). Dinamika Populasi Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di Perairan Teluk Kupang, Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Bluefin Fisheries*, 4(1), 1–10. <https://www.journal.poltekkp-bitung.ac.id/index.php/JBF/article/view/178>.
- Rahmalia, D., Anwar, S., & Siregar, N. (2026). Sektor Kelautan Indonesia dalam Perspektif SDGs 14: Tren dan Tantangan 2018-2024. *Jurnal Laot Ilmu Kelautan (JLIK)*, 8(1). <https://doi.org/10.35308/jlik.v8i1.14035>.
- Sparre, P., & Venema, S. C. (1992). Introduction to Tropical Fish Stock Assessment, Part 1: Manual. FAO Fisheries Technical Paper No. 306/1 Rev. 2, Rome.

- Suwardi, A., Kurniawan, & Fitriyanto. (2023). Dinamika Populasi Ikan Tenggiri (*Scomberomorus commerson*) yang didaratkan di Pelabuhan Perikanan Sungai Rengas, Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Sains Pertanian Equator*, 12(3), 1–11. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jspp/article/view/66489>.
- Tite, T., Rianto, R., & Simanjuntak, C. (2025). Dinamika Populasi Ikan Sembilang (*Plotosus canius*) Hasil Tangkap Nelayan yang Didaratkan di TPI Jungkat Kabupaten Mempawah. *Akuatik Tropis: Journal of Tropical Aquatic Resource Management*. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/AkuatikTropis/article/view/93247>.
- Tuapetel, F. (2019). *Dinamika Populasi Ikan: Metode Analitik dan Holistik*. Penerbit Akademia, Jakarta.
- Von Bertalanffy, L. (1938). A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws II). *Human Biology*, 10(2), 181–213.
- Walpole, R. E. (1995). *Pengantar Statistika (Edisi ke-3)*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

BAB 6

INTERAKSI ANTAR POPULASI

Oleh Kartika Aprilia Putri

Ekologi hewan mempelajari hubungan timbal balik antara hewan dengan lingkungannya, termasuk organisme lain yang hidup bersama dalam satu ekosistem. Salah satu aspek fundamental dalam ekologi adalah interaksi antar populasi, yaitu hubungan yang terjadi antara dua atau lebih populasi berbeda spesies yang menempati habitat yang sama atau berdekatan (Molles, M.C. 2019).

Interaksi antar populasi adalah hubungan ekologis yang terjadi antara dua populasi berbeda spesies dalam suatu komunitas, di mana interaksi tersebut memengaruhi tingkat pertumbuhan, kelangsungan hidup, dan reproduksi masing-masing populasi yang terlibat. Interaksi antar populasi merupakan kekuatan pendorong utama dalam proses evolusi, pembentukan komunitas biologis, dan pengaturan keseimbangan ekosistem. Setiap jenis interaksi menghasilkan dampak yang berbeda bagi populasi yang terlibat, baik berupa keuntungan, kerugian, maupun tidak ada pengaruh sama sekali (Molles, M.C. 2019).

Pemahaman mendalam tentang interaksi antar populasi sangat penting dalam berbagai bidang, antara lain:

1. Pengelolaan sumber daya alam dan konservasi satwa liar
2. Pengendalian hama secara biologis
3. Pengembangan agrikultur berkelanjutan

4. Prediksi dampak perubahan iklim terhadap komunitas hewan
5. Pemodelan dinamika populasi dalam ekosistem

6.1 Klasifikasi Interaksi Antar Populasi

Interaksi antar populasi diklasifikasikan berdasarkan dampak yang ditimbulkan terhadap masing-masing populasi yang berinteraksi. Secara konvensional, dampak tersebut dinyatakan dalam tanda positif (+), negatif (-), atau netral (0).

Tabel 6. 1 Klasifikasi Interaksi Antar Populasi

Jenis Interaksi	Populasi A	Populasi B	Contoh Umum
Kompetisi	(-)	(-)	Dua spesies herbivora memperebutkan rumput
Predasi	(+)	(-)	Singa memangsa zebra
Parasitisme	(+)	(-)	Kutu pada anjing
Mutualisme	(+)	(+)	Lebah dan bunga (polinasi)
Komensalisme	(+)	(0)	Ikan remora pada hiu

Jenis Interaksi	Populasi A	Populasi B	Contoh Umum
Amensalisme	(0)	(-)	Alga yang menghalangi cahaya bagi organisme bawah
Netralisme	(0)	(0)	Gajah dan burung di padang savana berbeda relung

Keterangan: (+) = populasi diuntungkan, (-) = populasi dirugikan, (0) = populasi tidak terpengaruh

6.2 Kompetisi

Kompetisi merupakan interaksi di mana dua populasi atau lebih memperebutkan sumber daya yang sama dan terbatas. Kompetisi berdampak negatif bagi semua pihak yang terlibat karena mengurangi akses masing-masing populasi terhadap sumber daya yang dibutuhkan untuk kelangsungan hidup dan reproduksi (Begon, dkk. 2006).

6.2.1 Kompetisi Intraspesifik dan Interspesifik

Kompetisi merupakan salah satu bentuk interaksi antar populasi yang terjadi ketika dua atau lebih organisme memanfaatkan sumber daya yang sama dalam jumlah terbatas, seperti makanan, ruang, air, cahaya, atau pasangan. Dalam ekologi hewan, kompetisi dibedakan menjadi kompetisi intraspesifik dan kompetisi interspesifik berdasarkan jenis organisme yang terlibat (Winarni, dkk. 2020).

1. Kompetisi Intraspesifik

Kompetisi intraspesifik adalah persaingan yang terjadi antar individu dalam satu spesies yang sama. Persaingan ini biasanya lebih kuat karena individu memiliki kebutuhan ekologis yang hampir identik.

Karakteristik dari kompetisi intraspesifik yaitu terjadi dalam satu spesies, kebutuhan sumber daya sangat mirip, intensitas persaingan cenderung tinggi, dan berpengaruh terhadap ukuran populasi.

2. Kompetisi Interspesifik

Kompetisi interspesifik adalah persaingan yang terjadi antar individu dari spesies yang berbeda. Kompetisi ini muncul ketika dua spesies menggunakan sumber daya yang sama dalam habitat tertentu.

Karakteristik dari kompetisi interspesifik yaitu terjadi antar spesies berbeda, melibatkan relung ekologi yang tumpang tindih, dapat menyebabkan eksklusi kompetitif, dan memengaruhi distribusi spesies.

6.2.2 Mekanisme Kompetisi

Mekanisme kompetisi adalah cara organisme bersaing dalam memperoleh sumber daya yang terbatas, seperti makanan, ruang, cahaya, air, pasangan, maupun tempat berlindung. Mekanisme ini menentukan keberhasilan suatu populasi dalam mempertahankan hidup dan berkembang biak (Begon, dkk. 2006).

1. Kompetisi Eksploitasi (*Exploitation Competition*)

Kompetisi eksploitasi (*exploitative competition*) terjadi ketika organisme menggunakan sumber daya yang sama sehingga ketersediaan sumber daya tersebut berkurang bagi

organisme lain. Pada mekanisme ini tidak terjadi kontak langsung antar organisme.

Kompetisi eksploitasi ditandai dengan tidak adanya interaksi fisik langsung. Terjadi melalui adanya pemanfaatan sumber daya secara bersama. Umumnya interaksi ini berlangsung dalam jangka panjang.

2. Kompetisi Interferensi (*Interference Competition*)

Terjadi ketika individu dari satu populasi secara aktif menghalangi akses populasi lain terhadap sumber daya, baik melalui agresi fisik, intimidasi, maupun produksi senyawa alelopati.

Kompetisi interferensi terjadi dengan adanya kontak fisik langsung. Melibatkan perilaku agresif atau penguasaan wilayah. Umumnya berlangsung dengan cepat dan intensif. Contoh Kompetisi Interferensi : Semut rangrang (*Oecophylla smaragdina*) secara agresif mengusir semut spesies lain dari wilayah teritorialnya. Mereka menggunakan feromon kimia dan serangan fisik untuk mempertahankan sumber makanan dan pohon yang menjadi habitatnya.

6.3 Predasi

Predasi merupakan salah satu bentuk interaksi antar populasi dalam ekologi hewan yang terjadi ketika satu organisme menangkap, membunuh, dan memakan organisme lain. Organisme yang memburu disebut predator, sedangkan organisme yang dimakan disebut mangsa (prey). Interaksi ini bersifat menguntungkan bagi predator (+) dan merugikan bagi mangsa (-). Predasi memiliki peranan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem karena membantu mengontrol ukuran populasi dan mempertahankan kestabilan rantai makanan (Winarni,dkk. 2020).

Predasi adalah hubungan ekologis di mana predator memperoleh energi dan nutrisi dengan memangsa organisme lain. Interaksi ini merupakan bagian penting dalam aliran energi ekosistem dan menjadi salah satu mekanisme alami pengendalian populasi.

Dalam ekosistem, predator dapat berupa hewan karnivora yang memakan hewan lain. Herbivora tertentu yang memakan tumbuhan. Parasitoid yang akhirnya membunuh inangnya. Contoh sederhana predasi adalah singa yang memangsa zebra atau burung hantu yang memakan tikus.

Predasi memiliki beberapa karakteristik utama yang membedakannya dari bentuk interaksi antar populasi lainnya. Interaksi ini melibatkan hubungan antara predator sebagai organisme pemangsa dan mangsa sebagai organisme yang dimakan. Dalam hubungan tersebut, predator memperoleh keuntungan berupa energi dan nutrisi yang diperlukan untuk mempertahankan hidup, tumbuh, dan berkembang biak. Sebaliknya, mangsa mengalami kerugian, baik berupa luka, penurunan kemampuan hidup, maupun kematian akibat dimangsa. Predasi juga memengaruhi ukuran populasi kedua organisme, karena peningkatan jumlah predator dapat menurunkan populasi mangsa, sedangkan ketersediaan mangsa akan memengaruhi jumlah predator dalam suatu ekosistem. Selain itu, predasi menjadi bagian penting dalam rantai makanan dan jaring-jaring makanan karena berperan dalam mengatur aliran energi, menjaga keseimbangan populasi, dan mempertahankan kestabilan ekosistem.

6.3.1 Dinamika Predator - Mangsa

Dinamika predator-mangsa merupakan hubungan ekologis yang menggambarkan perubahan ukuran populasi predator dan mangsa dari waktu ke waktu akibat interaksi predasi. Dalam ekologi hewan,

hubungan ini menjadi salah satu aspek penting karena memengaruhi keseimbangan ekosistem, struktur komunitas, serta aliran energi dalam rantai makanan. Populasi predator dan mangsa saling memengaruhi secara langsung sehingga perubahan jumlah salah satu populasi akan berdampak pada populasi lainnya.

Pada kondisi normal, peningkatan populasi mangsa akan menyediakan lebih banyak sumber makanan bagi predator sehingga jumlah predator ikut meningkat. Sebaliknya, meningkatnya jumlah predator menyebabkan tekanan predasi terhadap mangsa semakin besar sehingga populasi mangsa menurun. Ketika populasi mangsa berkurang, predator mengalami kekurangan makanan sehingga jumlah predator juga menurun. Penurunan predator kemudian memungkinkan populasi mangsa kembali meningkat. Siklus ini berlangsung secara berulang dan membentuk pola fluktuasi populasi yang dinamis.

Hubungan predator-mangsa secara matematis dijelaskan melalui model Lotka-Volterra yang menggambarkan perubahan populasi kedua organisme (Townsend, dkk. 2008).

Model Lotka-Volterra

$$\frac{dN}{dt} = rN - aNP \text{ (pertumbuhan populasi mangsa)}$$

$$\frac{dP}{dt} = baNP - mP \text{ (pertumbuhan populasi predator)}$$

di mana:

N = ukuran populasi mangsa,

P = ukuran populasi predator,

r = laju pertumbuhan intrinsik mangsa,

a = laju serangan predator,

b = efisiensi konversi mangsa menjadi predator baru,
 m = laju kematian predator.

Model tersebut menunjukkan bahwa pertumbuhan populasi mangsa dipengaruhi oleh laju reproduksi dan tingkat predasi, sedangkan populasi predator dipengaruhi oleh keberhasilan memperoleh mangsa dan tingkat kematian predator. Fluktuasi populasi predator dan mangsa biasanya membentuk pola siklus periodik, di mana puncak populasi mangsa umumnya terjadi lebih dahulu sebelum diikuti peningkatan populasi predator.

Dinamika predator–mangsa dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, seperti ketersediaan makanan, kondisi habitat, perubahan iklim, penyakit, kompetisi, dan aktivitas manusia. Selain itu, organisme juga memiliki berbagai bentuk adaptasi untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya. Predator mengembangkan kemampuan berburu seperti kecepatan, kamuflase, dan perilaku berburu berkelompok, sedangkan mangsa mengembangkan mekanisme pertahanan seperti mimikri, racun, duri, dan perilaku menghindar.

Dalam ekosistem, dinamika predator–mangsa memiliki peranan penting dalam menjaga keseimbangan populasi organisme. Predator membantu mengontrol populasi mangsa agar tidak terjadi ledakan populasi yang dapat merusak lingkungan. Sebaliknya, keberadaan mangsa menentukan kelangsungan hidup predator. Oleh karena itu, hubungan predator–mangsa menjadi salah satu mekanisme alami yang mendukung kestabilan ekosistem dan mempertahankan keanekaragaman hayati.

6.3.2 Adaptasi Mangsa Terhadap Predasi

Dalam ekologi hewan, predasi merupakan salah satu tekanan seleksi utama yang memengaruhi evolusi organisme. Untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya, organisme mangsa mengembangkan berbagai bentuk adaptasi yang memungkinkan mereka menghindari, mengurangi, atau bertahan dari serangan predator. Adaptasi tersebut dapat berupa perubahan morfologi, fisiologi, maupun perilaku yang berkembang melalui proses seleksi alam dalam jangka waktu panjang. Keberadaan adaptasi mangsa sangat penting dalam menjaga keseimbangan hubungan predator–mangsa di dalam ekosistem (Odum & Barrett, 2005).

Salah satu bentuk adaptasi mangsa yang paling umum adalah kamuflase atau *cryptic coloration*, yaitu kemampuan organisme menyerupai warna dan bentuk lingkungan sekitarnya sehingga sulit dikenali predator. Contohnya adalah belalang daun yang menyerupai daun hijau atau serangga ranting yang bentuk tubuhnya menyerupai ranting pohon. Kamuflase membantu mangsa mengurangi kemungkinan terdeteksi oleh predator.

Selain kamuflase, beberapa organisme mengembangkan mimikri, yaitu kemampuan menyerupai organisme lain yang berbahaya atau tidak disukai predator. Contohnya, beberapa spesies ular tidak berbisa memiliki pola warna menyerupai ular berbisa sehingga predator menghindarinya. Bentuk adaptasi ini meningkatkan peluang mangsa untuk bertahan hidup tanpa harus memiliki senjata pertahanan yang sebenarnya (Krebs, C.J. 2014).

Mangsa juga dapat memiliki pertahanan mekanik berupa struktur tubuh tertentu yang melindungi diri dari serangan predator. Contohnya adalah duri pada landak,

cangkang keras pada kura-kura, dan tanduk pada beberapa mamalia herbivora. Struktur tersebut berfungsi mengurangi efektivitas serangan predator dan meningkatkan kemampuan bertahan hidup mangsa.

Selain pertahanan fisik, beberapa organisme menghasilkan pertahanan kimia berupa racun, bau menyengat, atau zat berbahaya lainnya. Katak beracun, kumbang penyemprot cairan kimia, dan beberapa jenis serangga penghasil bau merupakan contoh adaptasi kimia untuk menghindari predasi. Predator yang pernah mengalami efek negatif dari mangsa beracun biasanya akan menghindari mangsa serupa pada masa berikutnya (Krebs, C.J. 2014).

Adaptasi perilaku juga menjadi strategi penting dalam mengurangi risiko predasi. Banyak hewan hidup berkelompok untuk meningkatkan kewaspadaan terhadap predator. Contohnya adalah kawanan zebra atau ikan yang berenang dalam kelompok besar. Selain itu, beberapa hewan aktif pada malam hari (nokturnal) untuk menghindari predator diurnal, sedangkan hewan lain menggunakan perilaku melarikan diri dengan cepat ketika mendeteksi ancaman.

Dalam perspektif evolusi, adaptasi mangsa terhadap predasi menunjukkan adanya perlombaan evolusioner (*evolutionary arms race*) antara predator dan mangsa. Ketika predator mengembangkan kemampuan berburu yang lebih efektif, mangsa juga mengembangkan mekanisme pertahanan yang lebih baik. Interaksi ini menyebabkan perubahan evolusioner pada kedua pihak secara terus-menerus.

Adaptasi mangsa terhadap predasi memiliki peranan penting dalam menjaga kestabilan ekosistem. Mekanisme pertahanan yang dimiliki mangsa membantu mempertahankan populasi agar tidak mengalami

kepunahan akibat tekanan predator yang berlebihan. Dengan demikian, hubungan predator dan mangsa dapat berlangsung secara seimbang dan mendukung keberlanjutan rantai makanan serta keanekaragaman hayati.

6.3.3 Adaptasi Predator

Dalam ekologi hewan, predator merupakan organisme yang memperoleh makanan dengan cara memburu dan memakan organisme lain. Untuk meningkatkan keberhasilan dalam menangkap mangsa, predator mengembangkan berbagai bentuk adaptasi yang meliputi perubahan morfologi, fisiologi, maupun perilaku. Adaptasi tersebut merupakan hasil proses evolusi dan seleksi alam yang berlangsung dalam waktu lama sehingga predator memiliki kemampuan berburu yang lebih efektif. Adaptasi predator sangat penting dalam menjaga keseimbangan hubungan predator-mangsa dan mempertahankan kestabilan ekosistem (Krebs, C.J. 2014).

Salah satu bentuk adaptasi predator adalah adaptasi morfologi, yaitu penyesuaian struktur tubuh yang membantu proses berburu. Banyak predator memiliki gigi tajam, cakar kuat, atau paruh melengkung untuk menangkap dan merobek mangsa. Contohnya, singa memiliki taring dan cakar yang kuat untuk melumpuhkan mangsa, sedangkan burung elang memiliki paruh tajam dan kuku yang kuat untuk mencengkeram hewan buruannya. Pada hewan akuatik seperti hiu, bentuk tubuh yang ramping membantu meningkatkan kecepatan berenang saat mengejar mangsa.

Selain adaptasi morfologi, predator juga memiliki adaptasi fisiologi yang mendukung kemampuan berburu. Beberapa predator memiliki indera

penglihatan, penciuman, atau pendengaran yang sangat tajam untuk mendeteksi keberadaan mangsa. Burung hantu, misalnya, memiliki kemampuan pendengaran yang sangat sensitif sehingga mampu mendeteksi gerakan tikus di malam hari. Ular tertentu memiliki organ pendeteksi panas (*pit organ*) yang memungkinkan mereka menemukan mangsa dalam kondisi gelap. Selain itu, beberapa predator menghasilkan racun untuk melumpuhkan mangsa, seperti ular berbisa dan laba-laba.

Adaptasi perilaku juga memainkan peranan penting dalam keberhasilan predator memperoleh makanan. Banyak predator menggunakan strategi berburu tertentu, seperti berburu secara berkelompok, mengendap-endap, atau menyergap mangsa. Serigala berburu dalam kelompok untuk meningkatkan peluang menangkap hewan yang lebih besar, sedangkan harimau menggunakan kamuflase dan gerakan diam-diam sebelum menyerang mangsanya secara tiba-tiba. Pada beberapa spesies, predator juga menunjukkan kemampuan belajar dan kecerdasan dalam menentukan strategi berburu yang efektif.

Sebagian predator memiliki kemampuan kamuflase untuk menyatu dengan lingkungan sekitar sehingga sulit dikenali mangsa. Contohnya adalah harimau dengan corak belang yang membantu bersembunyi di antara vegetasi hutan, serta gurita yang mampu mengubah warna tubuhnya sesuai lingkungan. Kamuflase memungkinkan predator mendekati mangsa tanpa terdeteksi dan meningkatkan keberhasilan serangan.

Dalam proses evolusi, adaptasi predator berkembang bersamaan dengan adaptasi mangsa sehingga terjadi hubungan yang dikenal sebagai perlombaan evolusioner. Ketika mangsa mengembangkan mekanisme pertahanan yang lebih

baik, predator juga mengalami seleksi untuk meningkatkan kemampuan berburu. Interaksi ini menyebabkan perubahan evolusi pada kedua organisme secara terus-menerus (Krebs, C.J. 2014).

Adaptasi predator memiliki peranan penting dalam ekosistem karena membantu menjaga keseimbangan populasi mangsa dan mendukung kestabilan rantai makanan. Predator umumnya memangsa individu yang lemah, sakit, atau kurang adaptif sehingga berkontribusi dalam proses seleksi alam dan menjaga kualitas genetik populasi mangsa. Dengan demikian, adaptasi predator tidak hanya mendukung keberhasilan berburu, tetapi juga berperan dalam mempertahankan keseimbangan dan keanekaragaman hayati dalam ekosistem.

6.4 Parasitisme

Parasitisme merupakan salah satu bentuk interaksi antar populasi dalam ekologi hewan di mana satu organisme memperoleh keuntungan, sedangkan organisme lain mengalami kerugian. Organisme yang diuntungkan disebut parasit, sedangkan organisme yang dirugikan disebut inang (*host*). Dalam hubungan ini, parasit memperoleh makanan, tempat hidup, atau sumber energi dari tubuh inang sehingga dapat memengaruhi kesehatan, pertumbuhan, bahkan kelangsungan hidup inang tersebut. Parasitisme termasuk interaksi biologis yang sangat umum ditemukan dalam berbagai ekosistem dan memiliki peranan penting dalam dinamika populasi serta keseimbangan komunitas organisme (Krebs, C.J. 2014).

Parasit dapat hidup di permukaan tubuh inang maupun di dalam tubuh inang. Berdasarkan tempat hidupnya, parasit dibedakan menjadi ektoparasit dan endoparasit. Ektoparasit adalah parasit yang hidup di bagian luar tubuh inang, seperti kutu, caplak, dan lintah. Organisme ini memperoleh makanan

dengan mengisap darah atau cairan tubuh inang. Sementara itu, endoparasit hidup di dalam tubuh inang, misalnya cacing pita di usus manusia atau protozoa penyebab malaria dalam darah. Endoparasit umumnya lebih sulit dideteksi karena hidup di organ internal tubuh inang.

Hubungan parasitisme biasanya tidak langsung menyebabkan kematian inang karena keberlangsungan hidup parasit bergantung pada keberadaan inang. Namun, infestasi parasit yang tinggi dapat menurunkan kesehatan inang, menyebabkan gangguan fisiologis, menghambat pertumbuhan, menurunkan kemampuan reproduksi, hingga memicu kematian. Pada hewan liar, infeksi parasit juga dapat meningkatkan kerentanan terhadap predator dan penyakit lain.

Parasit memiliki berbagai bentuk adaptasi untuk mempertahankan hidupnya di dalam atau pada tubuh inang. Banyak parasit memiliki alat pengisap, kait, atau struktur khusus untuk melekat pada tubuh inang. Selain itu, beberapa parasit mampu menghasilkan zat kimia tertentu untuk menghindari sistem kekebalan tubuh inang. Cacing pita, misalnya, memiliki tubuh pipih dan alat pengait untuk menempel pada dinding usus, sedangkan protozoa tertentu mampu berubah bentuk agar tidak mudah dikenali oleh sistem imun (Askew, R.R. 1971).

Sebaliknya, organisme inang juga mengembangkan berbagai mekanisme pertahanan terhadap parasit. Pertahanan tersebut dapat berupa respons imun, perilaku membersihkan tubuh (*grooming*), hingga produksi zat antibodi untuk melawan infeksi. Pada beberapa hewan sosial seperti primata dan burung, perilaku saling membersihkan tubuh membantu mengurangi jumlah ektoparasit.

Dalam ekosistem, parasitisme memiliki peranan penting dalam mengontrol ukuran populasi dan menjaga keseimbangan komunitas. Parasit dapat membatasi

pertumbuhan populasi tertentu sehingga mencegah dominasi satu spesies dalam suatu habitat. Selain itu, interaksi antara parasit dan inang juga menjadi salah satu faktor pendorong evolusi karena kedua organisme terus mengalami adaptasi untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya.

Parasitisme tidak hanya terjadi pada hewan, tetapi juga pada tumbuhan dan mikroorganisme. Contohnya adalah benalu yang mengambil nutrisi dari pohon inangnya, serta jamur parasit yang menyerang tanaman budidaya. Dalam bidang kesehatan dan pertanian, pemahaman mengenai parasitisme sangat penting karena banyak parasit dapat menyebabkan penyakit pada manusia, hewan ternak, maupun tanaman (Askew, R.R. 1971).

6.4.1 Klasifikasi Parasit

Parasit adalah organisme yang hidup pada atau di dalam organisme lain (inang) dan memperoleh keuntungan berupa makanan, tempat hidup, maupun perlindungan dari inangnya (Smyth, J.D. 1994). Dalam hubungan ini, inang mengalami kerugian karena sebagian sumber energinya dimanfaatkan oleh parasit. Dalam ekologi hewan dan parasitologi, parasit diklasifikasikan berdasarkan tempat hidup, ketergantungan terhadap inang, lama hubungan dengan inang, jumlah inang, serta sifat interaksinya (Askew, R.R. 1971). Klasifikasi ini penting untuk memahami mekanisme hidup parasit, siklus hidup, serta dampaknya terhadap organisme inang dan ekosistem seperti pada tabel 6.2 dibawah ini (Roberts, L.S. & Janovy, J. 2009) .

Tabel 6. 2 Klasifikasi Parasit

Kategori	Jenis	Keterangan	Contoh
Berdasarkan Lokasi	Ektoparasit	Hidup di permukaan tubuh inang	Kutu, tungau, lintah
Berdasarkan Lokasi	Endoparasit	Hidup di dalam tubuh inang	Cacing pita, Plasmodium
Berdasarkan Ketergantungan	Parasit Obligat	Sepenuhnya bergantung pada inang	Virus, Rickettsia
Berdasarkan Ketergantungan	Parasit Fakultatif	Dapat hidup bebas atau sebagai parasit	Beberapa fungi patogen
Berdasarkan Dampak	Makroparasit	Dapat dilihat mata, tinggal di inang	Cacing, kutu
Berdasarkan Dampak	Mikroparasit	Berkembang biak langsung dalam inang	Bakteri, protozoa

6.4.2 Parasitoid

Parasitoid merupakan organisme yang hidup pada atau di dalam tubuh organisme lain selama sebagian tahap hidupnya dan akhirnya menyebabkan kematian inangnya. Dalam ekologi hewan, parasitoid memiliki karakteristik yang berada di antara predator dan parasit.

Seperti parasit, parasitoid bergantung pada inang sebagai sumber makanan dan tempat perkembangan. Namun, berbeda dengan parasit biasa yang umumnya tidak membunuh inangnya, parasitoid pada akhirnya akan menyebabkan kematian inang setelah menyelesaikan perkembangan hidupnya. Interaksi ini banyak ditemukan pada kelompok serangga dan memiliki peranan penting dalam pengendalian populasi organisme lain di alam (Bush, dkk. 2001).

Sebagian besar parasitoid berasal dari kelompok serangga Hymenoptera, seperti tawon parasitoid, dan Diptera, seperti lalat parasitoid. Organisme ini biasanya meletakkan telur pada atau di dalam tubuh inang. Setelah telur menetas, larva parasitoid akan memakan jaringan tubuh inang secara bertahap hingga inang mati. Karena larva membutuhkan tubuh inang sebagai sumber nutrisi utama, keberhasilan perkembangan parasitoid sangat bergantung pada kondisi fisiologis inangnya (Godfray, H.C.J. 1994).

Parasitoid umumnya menyerang serangga lain, terutama larva atau telur serangga herbivora. Oleh sebab itu, parasitoid memiliki peranan ekologis yang sangat penting sebagai agen pengendali hayati alami terhadap populasi hama pertanian. Contohnya, tawon parasitoid dari genus *Trichogramma* sering digunakan untuk mengendalikan telur serangga hama pada tanaman pertanian (Vinson, S.B. 1976).

Parasitoid memiliki beberapa karakteristik utama yang membedakannya dari organisme parasit biasa. Organisme ini hidup pada atau di dalam tubuh inang selama sebagian tahap kehidupannya dan sangat bergantung pada inang untuk menyelesaikan siklus hidupnya. Umumnya, satu individu parasitoid hanya memerlukan satu inang sebagai tempat perkembangan dari fase telur hingga dewasa. Setelah telur menetas,

larva parasitoid akan memanfaatkan jaringan tubuh inang sebagai sumber makanan utama untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Aktivitas larva tersebut secara bertahap menyebabkan kerusakan organ dan jaringan tubuh inang hingga akhirnya inang mati. Sebagian besar parasitoid berasal dari kelompok serangga, terutama dari ordo Hymenoptera seperti tawon parasitoid dan Diptera seperti lalat parasitoid. Dalam ekosistem, parasitoid berperan penting sebagai pengendali alami populasi serangga lain, khususnya serangga hama (Waage, J. & Greathead, D. 1986).

DAFTAR PUSTAKA

- Askew, R.R. 1971. *Parasitic Insects*. London: Heinemann Educational Books.
- Begon, M., Townsend, C.R., & Harper, J.L. 2006. *Ecology: From Individuals to Ecosystems*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Bush, A.O., Fernández, J.C., Esch, G.W., & Seed, J.R. 2001. *Parasitism: The Diversity and Ecology of Animal Parasites*. Cambridge University Press.
- Godfray, H.C.J. 1994. *Parasitoids: Behavioral and Evolutionary Ecology*. Princeton University Press.
- Krebs, C.J. 2014. *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. 6th Edition. Pearson Education.
- Molles, M.C. 2019. *Ecology: Concepts and Applications*. 8th Edition. McGraw-Hill Education.
- Odum, E.P. & Barrett, G.W. 2005. *Fundamentals of Ecology*. 5th Edition. Belmont: Thomson Brooks/Cole.
- Roberts, L.S. & Janovy, J. 2009. *Foundations of Parasitology*. 8th Edition. McGraw-Hill.
- Smyth, J.D. 1994. *Introduction to Animal Parasitology*. Cambridge University Press.
- Townsend, C.R., Begon, M., Harper, J.L. 2008. *Essentials of Ecology Third Edition*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Vinson, S.B. 1976. Host Selection by Insect Parasitoids. *Annual Review of Entomology*, 21: 109–133.
- Waage, J. & Greathead, D. 1986. *Insect Parasitoids*. London: Academic Press.

- Winarni, A., Hayati,A., Muhassanah,N. 2020. Analisis Pengaruh Tingkat Kompetisi dan Interaksi antara Prey dan Predator pada Perilaku Model Dinamik Diskrit Lotka-Volterra. *Square:Journal of Mathematics and Mathematics Education*, 02(02),109-118. https://journal.walisongo.ac.id/index.php/square/article/view/6324?utm_source=chatgpt.com

BAB 7

KOMUNITAS HEWAN DAN STRUKTUR

Oleh Nursia

Tidak ada organisme yang dapat hidup sendiri, di alam. Setiap hewan selalu berinteraksi dengan organisme lain dan lingkungan habitatnya. Interaksi tersebut dapat berupa hubungan makan dan dimakan (predasi), persaingan dalam memperoleh sumber daya (kompetisi), maupun hubungan saling menguntungkan (mutualisme). Berbagai bentuk interaksi ini membentuk suatu sistem kehidupan yang disebut komunitas. Dalam ekologi hewan, komunitas merupakan kumpulan berbagai populasi spesies yang hidup bersama dan saling memengaruhi dalam suatu habitat tertentu.

Komunitas hewan tersusun atas berbagai spesies dengan peran yang berbeda-beda dalam ekosistem. Ada spesies yang berperan sebagai predator, mangsa, pengurai, maupun spesies yang membantu menjaga keseimbangan lingkungan. Hubungan antarspesies tersebut membentuk struktur komunitas yang memengaruhi stabilitas ekosistem. Oleh karena itu, komunitas dapat diibaratkan seperti sebuah organisasi, di mana setiap anggota memiliki fungsi tertentu agar sistem tetap berjalan dengan baik.

Fenomena perubahan komunitas hewan saat ini, menjadi tantangan besar bagi keberlangsungan komunitas hewan. Kerusakan habitat, perubahan iklim, urbanisasi,

pencemaran, dan eksploitasi sumber daya alam menyebabkan perubahan komposisi spesies di berbagai ekosistem. Hilangnya predator puncak, meningkatnya spesies invasif, serta fragmentasi habitat dapat mengganggu keseimbangan komunitas dan menurunkan keanekaragaman hayati. Kondisi ini menunjukkan bahwa komunitas hewan bersifat dinamis dan sangat dipengaruhi oleh perubahan lingkungan.

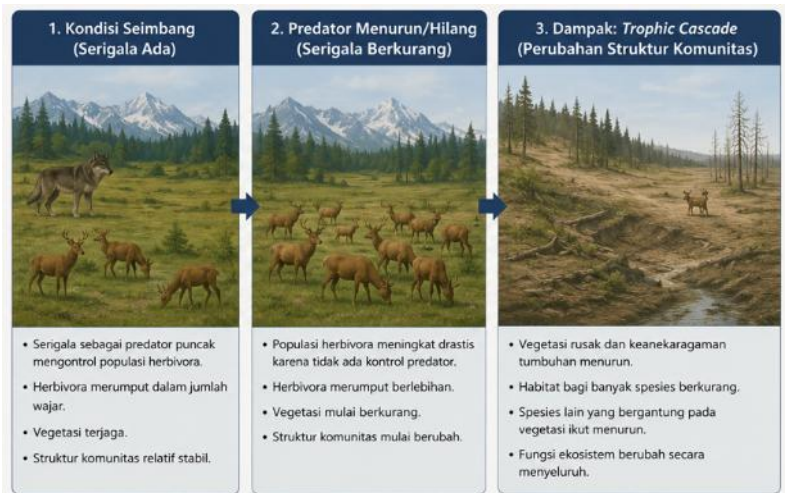
Menurut Bowman dan Hacker (2024), komunitas ekologis didefinisikan sebagai *“sekelompok spesies yang berinteraksi dan hidup bersama dalam ruang dan waktu yang sama.”* Definisi tersebut menegaskan bahwa komunitas bukan sekadar kumpulan organisme yang hidup berdampingan, melainkan suatu sistem ekologis yang terbentuk melalui interaksi antarspesies. Dalam komunitas terdapat pola interaksi yang membentuk struktur tertentu, seperti dominansi spesies, keanekaragaman, distribusi spasial, dan hubungan trofik.

Pembahasan mengenai komunitas hewan memiliki keterkaitan erat dengan materi pada bab sebelumnya. Pada bab tentang dinamika populasi dan interaksi antarpopulasi dijelaskan bahwa setiap populasi tidak hidup secara terpisah, melainkan senantiasa berinteraksi dengan populasi lain dalam suatu habitat. Interaksi tersebut kemudian membentuk struktur komunitas yang lebih kompleks. Oleh karena itu, pemahaman mengenai komunitas hewan menjadi landasan penting sebelum mempelajari analisis struktur komunitas dan dinamika perubahan komunitas pada bab berikutnya.

Dalam kajian ekologi modern, komunitas hewan dipelajari untuk memahami aliran energi, siklus nutrisi, stabilitas ekosistem, dan upaya konservasi biodiversitas. Carpentier *et al.* (2021) menjelaskan bahwa hubungan antarspesies yang kompleks dapat meningkatkan stabilitas komunitas dan membantu ekosistem bertahan terhadap

gangguan lingkungan. Oleh karena itu, kajian komunitas hewan tidak hanya penting dalam bidang akademik, tetapi juga dalam pengelolaan sumber daya alam dan pelestarian lingkungan.

Bab ini menguraikan konsep dasar komunitas hewan, meliputi komponen penyusun struktur komunitas, pola distribusi spesies, struktur trofik, stratifikasi, dominansi, keanekaragaman spesies, serta faktor-faktor yang memengaruhi stabilitas komunitas. Dengan mempelajari materi ini, mahasiswa diharapkan mampu menganalisis interaksi antarspesies, memahami hubungan organisme dengan lingkungannya, serta menginterpretasikan pola-pola ekologis yang terbentuk dalam suatu komunitas. Untuk memulai, pembahasan ini disajikan contoh penelitian dan studi kasus yang relevan untuk mendukung pemahaman pembaca.



Gambar 7. 1 Studi Kasus: Penurunan Populasi Predator dan Perubahan Struktur Komunitas (*Trophic Cascade*)

(Sumber: Ripple, W. J., Estes, J. A., Beschta, R. L., Wilmers, C. C., Ritchie, E. G., Hebblewhite, M., ... & Schmitz, O. J. (2019). Status and ecological effects of the world's largest carnivores. *Science*, 343(6167), 1241484. <https://doi.org/10.1126/science.aav8587>)

Penelitian Ripple *et al.* (2019) menunjukkan bahwa hilangnya predator puncak seperti serigala dapat menyebabkan peningkatan populasi herbivora secara drastis. Herbivora merumput berlebihan sehingga vegetasi rusak, keanekaragaman tumbuhan menurun dan habitat bagi spesies lain berkurang. Fenomena ini dikenal dengan istilah *trophic Cascade*, dimana terjadi perubahan pada satu tingkat tropik (hilangnya predator) memicu perubahan besar pada tingkat tropik lainnya yang mempengaruhi struktur dan fungsi ekosistem secara keseluruhan.

7.1 Konsep Dasar Komunitas Hewan

Komunitas hewan merupakan kumpulan berbagai populasi spesies yang hidup bersama dalam suatu habitat tertentu dan saling berinteraksi secara ekologis. Interaksi tersebut dapat berupa kompetisi, predasi, mutualisme, komensalisme, maupun hubungan makan-memakan yang membentuk struktur trofik.

Konsep komunitas dalam ekologi terus berkembang seiring kemajuan ilmu pengetahuan. Pada masa awal perkembangan ekologi, komunitas dipandang sebagai suatu unit yang stabil, teratur, dan memiliki batas yang jelas. Namun, pandangan ekologi modern menunjukkan bahwa komunitas bersifat dinamis dan batas antar komunitas sering kali tidak tegas karena organisme dapat berpindah serta berinteraksi dengan habitat di sekitarnya.

Smith dan Smith (2018) mendefinisikan komunitas sebagai “assemblage of interacting populations living in a common environment.” Kutipan tersebut menekankan bahwa keberadaan komunitas ditentukan oleh adanya hubungan interaktif antarorganisme dalam suatu lingkungan.

Secara umum, komunitas memiliki beberapa karakteristik utama, yaitu tersusun atas lebih dari satu spesies, memiliki hubungan ekologis antarorganisme, menempati habitat tertentu, serta memiliki struktur dan fungsi ekologis yang saling berkaitan. Selain itu, komunitas juga bersifat dinamis karena komposisi dan struktur penyusunnya dapat berubah dari waktu ke waktu akibat pengaruh faktor biotik maupun abiotik.

Menurut Vellend (2016), pembentukan struktur komunitas dipengaruhi oleh empat proses utama, yaitu *dispersal* (penyebaran organisme), *ecological drift* (drift ekologis), *ecological selection* (seleksi ekologis), dan *speciation* (spesiasi). **Dispersal** merupakan proses penyebaran organisme dari satu habitat ke habitat lainnya. **Ecological selection** berkaitan dengan kemampuan spesies untuk bertahan pada kondisi lingkungan tertentu. **Ecological drift** menyebabkan perubahan komposisi spesies secara acak, sedangkan **speciation** menghasilkan terbentuknya spesies baru yang menambah keanekaragaman komunitas. Keempat proses tersebut secara bersama-sama menentukan jenis organisme yang mampu hidup dan mendominasi suatu habitat.

Dalam kajian ekologi modern, komunitas dipahami sebagai sistem terbuka yang terus mengalami perubahan. Perubahan struktur komunitas dapat terjadi akibat migrasi organisme, perubahan kondisi lingkungan, gangguan alam, maupun aktivitas manusia. Molles (2019) menjelaskan bahwa struktur komunitas senantiasa berubah sebagai respons terhadap dinamika lingkungan dan interaksi antarspesies yang terjadi di dalamnya. Oleh sebab itu, pemahaman mengenai struktur dan dinamika komunitas sangat penting dalam kajian keseimbangan ekosistem serta upaya konservasi keanekaragaman hayati.

Hubungan antarspesies di dalam komunitas juga berpengaruh terhadap stabilitas ekosistem. Menurut Loreau *et al.* (2021), semakin kompleks hubungan antarorganisme dalam suatu komunitas, maka semakin tinggi pula kestabilan fungsi ekosistem. Kondisi tersebut terjadi karena adanya mekanisme saling melengkapi fungsi ekologis antarspesies sehingga ekosistem mampu mempertahankan keseimbangannya meskipun mengalami perubahan lingkungan.

Tabel 7. 1 Karakteristik Utama Komunitas Hewan

Karakteristik	Deskripsi
Komposisi spesies	Jenis organisme penyusun komunitas
Kelimpahan	Jumlah individu tiap spesies
Dominansi	Pengaruh spesies tertentu
Keanekaragaman	Variasi spesies dalam komunitas
Struktur Trofik	Hubungan makan-memakan
Interaksi ekologis	Hubungan antarorganisme
Dinamika komunitas	Perubahan struktur komunitas sepanjang waktu

Sumber: Modifikasi dari Molles (2019).

7.2 Struktur Komunitas Hewan

Struktur komunitas merupakan pola penyusunan berbagai spesies dalam suatu habitat tertentu. Struktur tersebut mencakup komposisi spesies, tingkat kelimpahan,

dominansi, pola distribusi, serta hubungan trofik antarorganisme yang membentuk suatu sistem kehidupan dalam ekosistem. Melalui struktur komunitas, dapat diketahui bagaimana organisme berinteraksi dan menjalankan perannya masing-masing dalam menjaga keseimbangan ekologi. Begon *et al.* (2021) menjelaskan bahwa struktur komunitas mencerminkan hasil interaksi antara faktor lingkungan dan proses biologis yang berlangsung dalam jangka panjang.

Menurut Allan *et al.* (2021), struktur komunitas memiliki pengaruh yang besar terhadap fungsi ekosistem, terutama dalam aliran energi, produktivitas biologis, dan siklus hara. Komunitas dengan struktur yang baik cenderung mampu mempertahankan stabilitas ekosistem dan mendukung keberlangsungan berbagai proses ekologis. Oleh karena itu, analisis struktur komunitas menjadi salah satu dasar penting dalam kajian ekologi untuk memahami kondisi, dinamika, dan tingkat kestabilan suatu ekosistem.

7.2.1 Komposisi Spesies

Komposisi spesies merupakan susunan jenis organisme yang menyusun suatu komunitas. Setiap habitat memiliki komposisi spesies yang berbeda karena dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, sejarah ekologis, serta kemampuan organisme untuk beradaptasi terhadap habitatnya. Perbedaan suhu, kelembapan, ketersediaan air, jenis vegetasi, dan sumber makanan menjadi faktor utama yang menentukan organisme apa saja yang dapat hidup dalam suatu komunitas.

Sebagai contoh, komunitas hutan hujan tropis memiliki komposisi spesies yang jauh lebih kompleks dibandingkan komunitas padang rumput. Hutan hujan tropis yang memiliki curah hujan tinggi dan produktivitas primer besar mampu mendukung kehidupan berbagai jenis herbivora, burung, serangga,

reptil, hingga predator. Sebaliknya, komunitas padang rumput umumnya lebih didominasi oleh herbivora darat dan predator yang beradaptasi pada habitat terbuka.

Pada ekosistem mangrove, komposisi spesies dapat terdiri atas kepiting, moluska, ikan, burung air, dan mikroorganisme benthik yang saling berinteraksi dalam menjaga keseimbangan ekosistem pesisir. Menurut Begon *et al.* (2021), variasi komposisi spesies dipengaruhi oleh faktor lingkungan, kemampuan adaptasi organisme, serta interaksi ekologis yang terjadi dalam habitat tersebut. Selain itu, Chase *et al.* (2020) menjelaskan bahwa heterogenitas habitat menjadi salah satu faktor penting yang menentukan perbedaan komposisi spesies antar komunitas.

Faktor-faktor yang mempengaruhi komposisi spesies antara lain:

- a. Kondisi iklim;
- b. Ketersediaan makanan;
- c. Komposisi antarorganisme;
- d. Kemampuan adaptasi; dan
- e. Gangguan lingkungan.

7.2.2 Kelimpahan Spesies

Kelimpahan spesies menunjukkan jumlah individu dari setiap spesies yang terdapat dalam suatu komunitas. Kelimpahan digunakan untuk mengetahui tingkat keberhasilan organisme dalam memanfaatkan sumber daya lingkungan serta mempertahankan populasinya (Begon *et al.*, 2021). Spesies dengan jumlah individu tinggi umumnya memiliki toleransi lingkungan yang luas, kemampuan reproduksi yang baik, serta kemampuan beradaptasi yang tinggi terhadap

perubahan habitat. Sebaliknya, spesies dengan kelimpahan rendah biasanya memiliki keterbatasan adaptasi atau membutuhkan kondisi lingkungan yang lebih spesifik (Molles, 2019).

Dalam ekologi, data kelimpahan sangat penting untuk menganalisis keseimbangan komunitas dan mengetahui perubahan populasi organisme dari waktu ke waktu. Namun, kelimpahan yang terlalu tinggi pada satu spesies juga dapat menimbulkan kompetisi sumber daya yang kuat sehingga mengurangi keberadaan spesies lain dan menyebabkan penurunan biodiversitas dalam komunitas (Odum & Barrett, 2020).

7.2.3 Dominansi Spesies

Dominansi spesies terjadi ketika suatu organisme memiliki pengaruh yang besar terhadap struktur dan fungsi komunitas. Dominansi biasanya ditunjukkan oleh jumlah individu yang tinggi, biomassa besar, atau luas penutupan habitat yang mendominasi dibandingkan spesies lainnya.

Menurut Odum dan Barrett (2020), spesies dominan memiliki kemampuan memengaruhi kondisi lingkungan, aliran energi, serta distribusi organisme lain dalam komunitas. Keberadaan spesies dominan sering kali menentukan kestabilan dan karakteristik suatu ekosistem.

Dominansi spesies dapat ditemukan pada berbagai tipe ekosistem, antara lain:

1. Pohon dipterocarpaceae di hutan hujan tropis: beberapa spesies dipterocarpaceae seperti *Shoorea* spp. sering menjadi dominan dalam suatu kawasan hutan hujan tropis karena memiliki jumlah individu dan biomassa yang sangat tinggi.

2. Kepiting bakau pada ekosistem mangrove: *Scylla serrata* dapat mendominasi komunitas makrofauna di ekosistem mangrove dan memengaruhi proses ekologi seperti pengemburan sedimen dan daur hara pada ekosistem mangrove.
3. Spesies semut tertentu dalam komunitas serangga tanah: spesies semut seperti *Pheidole megacephala* atau *Solenopsis* spp. sering dominan secara numerik dan berperan penting dalam struktur komunitas serangga tanah.
4. Herbivora tertentu pada komunitas padang rumput: spesies herbivora seperti kerbau (*Bubalus bubalis*) atau zebra (*Equus quagga*) dapat mendominasi komunitas padang rumput dengan biomassa besar dan memengaruhi dinamika vegetasi.

Untuk mengukur dominansi suatu spesies digunakan beberapa parameter utama, yaitu:

1. **Jumlah individu:** dominansi diukur berdasarkan banyaknya individu suatu spesies dalam komunitas. Spesies dengan jumlah individu paling tinggi dianggap dominan secara numerik.
2. **Biomassa:** dominansi ditentukan berdasarkan total massa (berat kering atau basah) dari suatu spesies dalam komunitas. Spesies dengan kontribusi biomassa terbesar dianggap dominan dalam ekosistem.
3. **Luas penutupan habitat:** dominansi diukur berdasarkan luas area yang ditutupi atau dimanfaatkan oleh suatu spesies, misalnya pada tumbuhan (penutupan tajuk) atau organisme bentik yang menutupi substrat.

7.2.4 Keanekaragaman Spesies

Keanekaragaman spesies merupakan salah satu indikator penting dalam menilai kualitas lingkungan dan kestabilan komunitas. Keanekaragaman mencakup jumlah spesies yang terdapat dalam suatu habitat serta proporsi individu dari setiap spesies tersebut.

Menurut Magurran (2021), tingkat keanekaragaman spesies mencerminkan kompleksitas hubungan ekologis dalam komunitas dan kemampuan ekosistem dalam mempertahankan stabilitasnya. Semakin tinggi keanekaragaman spesies, maka semakin besar pula kemampuan komunitas dalam menghadapi perubahan lingkungan maupun gangguan ekologis.

Komunitas dengan tingkat biodiversitas yang tinggi umumnya memiliki karakteristik lebih stabil, lebih produktif, lebih tahan terhadap gangguan lingkungan, serta memiliki hubungan ekologis yang lebih kompleks. Sebaliknya, komunitas dengan keanekaragaman rendah cenderung lebih rentan mengalami gangguan ekosistem. Hilangnya satu spesies saja dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap struktur komunitas dan fungsi ekologis pada habitat tersebut.

Tilman *et al.* (2020) menyatakan bahwa biodiversitas berperan penting dalam meningkatkan stabilitas ekosistem melalui perbedaan fungsi ekologis antarspesies. Setiap organisme memiliki relung ekologis yang berbeda sehingga dapat saling melengkapi dalam menjaga keberlangsungan proses ekologi di dalam komunitas.

7.3 Pola Distribusi Organisme dalam Komunitas

Distribusi mengelompok merupakan pola penyebaran organisme. Menurut Soberón (2019), distribusi spesies dipengaruhi oleh kombinasi faktor lingkungan, kemampuan dispersal, dan sejarah evolusi organisme.

Secara umum, pola distribusi organisme dalam suatu komunitas dapat dibedakan menjadi tiga tipe utama, yaitu distribusi mengelompok, distribusi acak, dan distribusi seragam. Pola penyebaran tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti ketersediaan sumber daya, kondisi lingkungan, interaksi antarorganisme, serta perilaku spesies dalam mempertahankan ruang hidupnya. Perbedaan pola distribusi mencerminkan kemampuan organisme dalam beradaptasi terhadap kondisi habitat dan tekanan ekologis yang dihadapinya (Begon *et al.*, 2021).

7.3.1 Distribusi Mengelompok (*Clumped Distribution*)

Distribusi mengelompok merupakan pola penyebaran organisme yang paling umum ditemukan di alam. Pada pola ini, individu suatu spesies hidup secara berkelompok pada lokasi tertentu yang memiliki sumber daya melimpah, seperti makanan, air, tempat berlindung, atau lokasi reproduksi. Pola ini juga dapat memberikan keuntungan bagi organisme, seperti meningkatkan perlindungan dari predator, mempermudah memperoleh makanan dan mendukung proses reproduksi. Menurut Molles (2019), pola distribusi mengelompok umum terjadi pada organisme yang hidup secara sosial atau pada habitat dengan sumber daya yang tersebar tidak merata.

Contoh beberapa organisme yang menunjukkan pola distribusi mengelompok:

1. Kawanannya rusa hidup berkelompok untuk meningkatkan kewaspadaan terhadap predator.

Dengan berkumpul peluang mendeteksi bahaya menjadi lebih besar.

2. Semut dan lebah dalam koloni yang terorganisir, dimana setiap individu memiliki tugas tertentu seperti mencari makan, merawat larva atau melindungi sarang
3. Ikan membentuk gerombolan (*schooling*) untuk mengurangi resiko predasi dan meningkatkan efisiensi pergerakan saat mencari makan.

7.3.2 Distribusi Acak (*Random Distribution*)

Distribusi acak terjadi ketika individu suatu spesies tersebar tanpa pola tertentu di dalam habitatnya. Pada pola ini, keberadaan suatu organisme tidak dipengaruhi oleh keberadaan individu lainnya. Distribusi acak umumnya terjadi pada lingkungan yang kondisi sumber dayanya relatif seragam dan interaksi antarorganisme sangat rendah.

Pola distribusi ini relatif jarang ditemukan di alam karena sebagian besar habitat memiliki kondisi lingkungan yang heterogen. Selain itu, faktor kompetisi, ketersediaan makanan, dan interaksi ekologis biasanya memengaruhi posisi organisme dalam habitatnya. Odum dan Barrett (2020) menjelaskan bahwa distribusi acak lebih mungkin terjadi pada organisme yang tidak menunjukkan perilaku sosial maupun kompetisi yang kuat.

7.3.3 Distribusi Seragam (*Uniform Distribution*)

Distribusi seragam merupakan pola penyebaran organisme dengan jarak antarindividu yang relatif sama. Pola ini biasanya muncul akibat adanya kompetisi yang tinggi dalam memperebutkan sumber daya atau karena perilaku teritorial pada organisme tertentu.

Pada pola distribusi seragam, setiap individu mempertahankan wilayah hidupnya sehingga organisme lain sulit memasuki area tersebut. Akibatnya, organisme tersebar secara lebih teratur dibandingkan pola distribusi lainnya. Menurut Ricklefs dan Relyea (2021), distribusi seragam sering ditemukan pada spesies yang memiliki perilaku mempertahankan wilayah atau pada tumbuhan yang bersaing memperoleh air dan unsur hara dalam habitat dengan sumber daya terbatas. Contoh distribusi seragam antara lain:

1. Burung pemangsa yang mempertahankan wilayah berburu;
2. Mamalia besar dengan daerah jelajah tertentu; dan
3. Tumbuhan pada habitat kering yang bersaing memperoleh air dan unsur hara.

7.4 Struktur Trofik dalam Komunitas

Struktur trofik menunjukkan hubungan makan-memakan dalam komunitas. Hubungan tersebut membentuk rantai makanan dan jaring-jaring makanan. Menurut Dijoux dan Boukal (2021), struktur trofik menentukan kestabilan komunitas dan efisiensi aliran energi dalam ekosistem.

7.4.1 Tingkat Tropik (*Trophic Levels*)

Tingkat trofik merupakan posisi organisme dalam aliran energi dan rantai makanan di dalam ekosistem. Setiap organisme menempati tingkat trofik tertentu berdasarkan cara memperoleh makanannya. Struktur trofik menggambarkan perpindahan energi dari produser menuju konsumen hingga dekomposer.

Secara umum, tingkat trofik, terdiri atas:

1. Produser (*producers*), yaitu organisme autotrof seperti tumbuhan hijau dan fitoplankton yang mampu menghasilkan makanan sendiri melalui fotosintesis.
2. Konsumen primer (*primary consumers*), yaitu herbivora yang memperoleh energi dengan memakan produser.
3. Konsumen sekunder (*secondary consumers*), yaitu organisme karnivora yang memakan konsumen primer.
4. Konsumen tersier (*tertiary consumers*), yaitu predator tingkat tinggi yang memakan konsumen sekunder.
5. Dekomposer (*decomposers*), yaitu organisme seperti bakteri dan jamur yang menguraikan sisa makhluk hidup menjadi unsur hara yang dapat dimanfaatkan kembali oleh produser.

Menurut Odum dan Barrett (2020), struktur tingkat trofik berperan penting dalam menjaga aliran energi dan keseimbangan ekosistem. Rantai Makanan.

7.4.2 Rantai Makanan (*Food Chain*)

Rantai makanan merupakan jalur perpindahan energi yang bersifat linear dari satu organisme ke organisme lainnya melalui proses makan dan dimakan. Energi dalam rantai makanan berasal dari produser dan diteruskan ke berbagai tingkat konsumen.



Gambar 7. 2 Contoh Rantai Makanan di Ekosistem Darat

Pada setiap perpindahan tingkat trofik, sebagian energi akan hilang dalam bentuk panas akibat aktivitas metabolisme organisme. Oleh karena itu, jumlah energi yang tersedia akan semakin berkurang pada tingkat trofik yang lebih tinggi (Molles, 2019).

7.4.4 Jaring-Jaring Makanan (*Food Web*)

Jaring-jaring makanan merupakan hubungan makan dan dimakan yang lebih kompleks dibandingkan rantai makanan. Dalam suatu komunitas, satu organisme dapat memiliki lebih dari satu jenis makanan dan juga dapat dimakan oleh beberapa organisme lain. Hubungan tersebut membentuk jaringan interaksi trofik yang saling berkaitan.

Jaring-jaring makanan berperan penting dalam menjaga kestabilan ekosistem karena memungkinkan aliran energi berlangsung melalui berbagai jalur alternatif. Semakin kompleks jaring-jaring makanan, maka semakin tinggi pula kestabilan komunitas terhadap gangguan lingkungan.

Estes *et al.* (2016) menjelaskan bahwa predator puncak memiliki peranan penting dalam mempertahankan struktur trofik komunitas. Kehilangan predator puncak dapat menyebabkan ketidakseimbangan populasi organisme lain dan mengganggu kestabilan ekosistem.

7.5 Stratifikasi dan Zonasi Komunitas

Stratifikasi komunitas merupakan pembagian ruang secara vertikal dalam suatu ekosistem berdasarkan perbedaan kondisi lingkungan dan keberadaan organisme penyusunnya. Stratifikasi menyebabkan organisme menempati lapisan habitat tertentu sesuai kemampuan adaptasinya terhadap cahaya, suhu, kelembapan, dan ketersediaan sumber daya. Sementara itu, zonasi merupakan pembagian komunitas berdasarkan perbedaan kondisi lingkungan secara horizontal pada suatu habitat.

Menurut Begon *et al.* (2021), stratifikasi dan zonasi berperan penting dalam meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya serta mengurangi kompetisi antarorganisme dalam komunitas.

10.6.1 Stratifikasi Hutan (*Forest Stratification*)

Ekosistem hutan memiliki struktur vertikal yang tersusun atas beberapa lapisan vegetasi. Setiap lapisan memiliki kondisi lingkungan yang berbeda sehingga mendukung keberadaan komunitas hewan dan tumbuhan tertentu.

Secara umum, stratifikasi hutan terdiri atas:

1. Lapisan kanopi atas (*upper canopy*), yaitu bagian tertinggi hutan yang menerima intensitas cahaya matahari paling besar. Lapisan ini banyak ditempati oleh burung, primata arboreal, dan serangga terbang.

2. Lapisan kanopi tengah (*middle canopy*), merupakan area dengan kelembapan lebih tinggi dan cahaya yang lebih rendah dibandingkan kanopi atas. Lapisan ini dihuni berbagai jenis burung, reptil, dan mamalia kecil.
3. Lapisan bawah atau semak (*understory/underbrush*), yaitu lapisan vegetasi rendah yang terdiri atas semak dan tumbuhan muda. Area ini menjadi habitat berbagai serangga, amfibi, dan mamalia kecil.
4. Lantai hutan (*forest floor*), yaitu bagian dasar hutan yang dipenuhi serasah daun dan bahan organik. Lapisan ini banyak dihuni dekomposer seperti jamur, bakteri, cacing tanah, serta berbagai organisme detritivor.

Perbedaan kondisi lingkungan pada setiap lapisan menyebabkan terbentuknya komunitas organisme yang berbeda. Stratifikasi hutan membantu meningkatkan keanekaragaman spesies karena menyediakan berbagai relung ekologis dalam satu ekosistem.

7.5.1 Zonasi Habitat

Zonasi habitat merupakan pembagian komunitas berdasarkan variasi kondisi lingkungan tertentu, seperti intensitas cahaya, kedalaman air, salinitas, suhu, maupun kelembapan. Setiap zona memiliki karakteristik fisik yang berbeda sehingga organisme yang hidup di dalamnya juga berbeda.

Contoh zonasi dapat ditemukan pada ekosistem perairan laut, antara lain:

1. Zona litoral (*littoral zone*), yaitu wilayah pantai yang dipengaruhi pasang surut air laut.
2. Zona neritik (*neritic zone*), yaitu wilayah laut dangkal yang masih mendapatkan cahaya matahari dan memiliki produktivitas tinggi.

3. Zona abisal (*abyssal zone*), yaitu wilayah laut dalam dengan kondisi gelap, suhu rendah, dan tekanan tinggi.

Pada ekosistem daratan, zonasi juga dapat terjadi akibat perbedaan ketinggian tempat, kelembapan, maupun jenis tanah. Perbedaan kondisi lingkungan tersebut menyebabkan organisme memiliki distribusi tertentu sesuai kemampuan adaptasinya.

7.6 Peran Fungsional Spesies dalam Komunitas

Dalam suatu komunitas, setiap spesies memiliki peran ekologis yang berbeda. Peran tersebut berkaitan dengan pengaruh organisme terhadap struktur komunitas, aliran energi, siklus nutrisi, serta kestabilan ekosistem. Beberapa spesies memiliki pengaruh yang sangat besar sehingga keberadaannya menentukan keseimbangan komunitas secara keseluruhan.

7.6.1 Spesies Dominan (*Dominant Species*)

Spesies dominan merupakan organisme yang memiliki pengaruh besar terhadap komunitas karena jumlah individu, biomassa, atau tingkat pemanfaatan sumber dayanya sangat tinggi. Spesies ini berperan penting dalam mengendalikan struktur komunitas dan memengaruhi keberadaan organisme lain di dalam habitat.

Menurut Odum dan Barrett (2020), spesies dominan berkontribusi besar terhadap aliran energi dan produktivitas ekosistem karena mendominasi biomassa komunitas. Kehadiran spesies dominan juga dapat memengaruhi kondisi fisik habitat serta distribusi spesies lain.

Contoh spesies dominan dapat ditemukan pada:

1. Pohon dipterokarpa di hutan hujan tropis;
2. Rumput tertentu pada ekosistem padang rumput; dan
3. Fitoplankton pada ekosistem perairan.

7.6.2 Spesies Kunci (*Keystone Species*)

Spesies kunci merupakan organisme yang jumlah individunya relatif sedikit, tetapi memiliki pengaruh sangat besar terhadap kestabilan komunitas. Hilangnya spesies kunci dapat menyebabkan perubahan drastis pada struktur komunitas dan keseimbangan ekosistem.

Konsep spesies kunci pertama kali dijelaskan oleh Robert T. Paine melalui penelitiannya pada komunitas intertidal. Paine (1969) menunjukkan bahwa hilangnya predator bintang laut menyebabkan perubahan besar pada struktur komunitas karena populasi organisme mangsa meningkat secara tidak terkendali.

Spesies kunci berperan dalam:

1. Mengendalikan populasi organisme lain,
2. Menjaga keseimbangan trofik,
3. Mempertahankan keanekaragaman spesies dalam komunitas.

Contoh spesies kunci antara lain:

1. Bintang laut predator pada ekosistem pantai,
2. Serigala pada ekosistem hutan,
3. Hiu sebagai predator puncak di lautan.

7.6.3 Pembentuk Ekosistem (*Ecosystem Engineers*)

Pembentuk ekosistem atau ecosystem engineers merupakan organisme yang mampu memodifikasi kondisi fisik habitat sehingga memengaruhi kehidupan organisme lain. Aktivitas organisme tersebut dapat mengubah struktur tanah, aliran air, maupun ketersediaan tempat hidup bagi spesies lain.

Menurut Jones *et al.* (1994), ecosystem engineers berperan penting dalam membentuk karakteristik habitat dan meningkatkan kompleksitas ekosistem.

Contoh organisme pembentuk ekosistem antara lain:

1. Rayap yang membangun sarang dan mengubah struktur tanah,
2. Berang-berang yang membangun bendungan pada aliran sungai,
3. Cacing tanah yang meningkatkan aerasi dan kesuburan tanah.

Keberadaan organisme pembentuk ekosistem membantu menciptakan habitat baru dan meningkatkan keberagaman organisme dalam komunitas.

7.7 Stabilitas Komunitas

Stabilitas komunitas merupakan kemampuan suatu komunitas untuk mempertahankan struktur, fungsi, dan keseimbangan ekologis ketika mengalami gangguan lingkungan. Gangguan tersebut dapat berupa perubahan iklim, bencana alam, invasi spesies asing, maupun aktivitas manusia yang memengaruhi kondisi habitat.

Komunitas yang stabil umumnya mampu mempertahankan hubungan antarorganisme, aliran energi, serta siklus nutrisi meskipun terjadi perubahan lingkungan.

Stabilitas komunitas dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti keanekaragaman spesies, kompleksitas jaring-jaring makanan, tingkat interaksi ekologis, dan kemampuan organisme beradaptasi terhadap perubahan habitat.

Komunitas yang memiliki tingkat keanekaragaman tinggi cenderung lebih stabil dibandingkan komunitas sederhana. Hal ini disebabkan karena komunitas kompleks memiliki lebih banyak jalur hubungan ekologis sehingga gangguan pada satu spesies dapat dikompensasi oleh spesies lainnya. Dengan demikian, fungsi ekosistem tetap dapat berlangsung secara normal.

Menurut Carpentier *et al.* (2021), kompleksitas jaring-jaring makanan berperan penting dalam meningkatkan resiliensi komunitas terhadap gangguan lingkungan. Semakin kompleks hubungan trofik dalam suatu komunitas, maka semakin besar kemampuan ekosistem untuk pulih setelah mengalami gangguan.

Selain itu, stabilitas komunitas juga berkaitan erat dengan keberadaan spesies kunci dan spesies dominan yang membantu menjaga keseimbangan populasi dalam ekosistem. Hilangnya organisme tertentu dapat menyebabkan perubahan besar terhadap struktur komunitas dan mengurangi kestabilan ekosistem.

Contoh komunitas yang relatif stabil dapat ditemukan pada hutan hujan tropis dan ekosistem terumbu karang yang memiliki tingkat biodiversitas tinggi serta hubungan ekologis yang kompleks. Sebaliknya, komunitas dengan keanekaragaman rendah umumnya lebih rentan mengalami ketidakseimbangan akibat perubahan lingkungan.

7.8 Studi Kasus Ekologi Komunitas

Komunitas organisme pada setiap ekosistem memiliki karakteristik yang berbeda sesuai kondisi lingkungan, ketersediaan sumber daya, serta interaksi ekologis yang terjadi di dalamnya. Perbedaan faktor abiotik dan biotik menyebabkan terbentuknya struktur komunitas yang khas pada setiap habitat.

7.8.1 Komunitas Mangrove

Ekosistem mangrove merupakan salah satu komunitas pesisir yang memiliki tingkat kompleksitas tinggi. Komunitas ini tersusun atas berbagai organisme seperti kepiting, moluska, ikan, burung air, serta organisme benthik yang hidup di substrat lumpur dan akar mangrove.

Mangrove berfungsi sebagai habitat, tempat pemijahan, tempat mencari makan, dan area perlindungan bagi berbagai organisme perairan. Selain itu, akar mangrove membantu menstabilkan sedimen dan melindungi wilayah pesisir dari abrasi.

Menurut Reverter *et al.* (2021), variasi kualitas habitat pesisir memberikan pengaruh penting terhadap komposisi komunitas benthik di ekosistem mangrove. Perubahan salinitas, pencemaran, sedimentasi, dan kerusakan vegetasi mangrove dapat memengaruhi keberadaan organisme penyusun komunitas tersebut.

7.8.2 Komunitas Serangga pada Lahan Pertanian

Lahan pertanian merupakan habitat bagi berbagai jenis serangga, baik yang berperan sebagai hama, predator, parasitoid, maupun penyerbuk. Keanekaragaman serangga dalam ekosistem pertanian sangat penting untuk menjaga keseimbangan trofik dan stabilitas ekosistem.

Penggunaan pestisida secara berlebihan dapat menyebabkan penurunan keanekaragaman serangga serta mengganggu hubungan trofik dalam komunitas. Organisme yang sensitif terhadap bahan kimia akan mengalami penurunan populasi, termasuk serangga predator dan penyerbuk yang berperan penting dalam produktivitas pertanian.

Penurunan biodiversitas serangga dapat menyebabkan meningkatnya dominasi hama tertentu sehingga keseimbangan ekosistem pertanian menjadi terganggu.

7.8.3 Komunitas Terumbu Karang

Ekosistem terumbu karang merupakan salah satu komunitas laut dengan tingkat biodiversitas tertinggi di dunia. Komunitas ini terdiri atas karang, ikan karang, moluska, krustasea, alga, dan berbagai organisme laut lainnya yang saling berinteraksi dalam jaring-jaring makanan yang kompleks.

Kerusakan terumbu karang akibat pemanasan global, peningkatan suhu laut, pencemaran, dan aktivitas manusia dapat menyebabkan perubahan komposisi komunitas ikan serta menurunkan biodiversitas laut. Pemutihan karang (*coral bleaching*) mengurangi kemampuan terumbu karang menyediakan habitat dan sumber makanan bagi organisme laut lainnya.

Penurunan kualitas terumbu karang berdampak langsung terhadap stabilitas komunitas laut dan produktivitas ekosistem pesisir secara keseluruhan.

Komunitas hewan merupakan kumpulan berbagai populasi yang hidup bersama dan saling berinteraksi di dalam suatu habitat tertentu. Struktur komunitas yang menentukan fungsi dan kestabilan ekosistem meliputi

komposisi spesies, kelimpahan, dominansi, pola distribusi, serta hubungan trofik antarorganisme.

Komunitas bersifat dinamis dan terus mengalami perubahan akibat pengaruh faktor lingkungan maupun interaksi ekologis. Tingkat keanekaragaman yang tinggi cenderung meningkatkan stabilitas komunitas dan kemampuan ekosistem dalam mempertahankan keseimbangan ekologis.

Pemahaman mengenai komunitas hewan sangat penting dalam upaya konservasi keanekaragaman hayati, pengelolaan lingkungan, serta analisis perubahan ekosistem yang disebabkan oleh aktivitas manusia dan perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Allan, J. D., Castillo, M. M., & Capps, K. A. (2021). *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. Springer.
- Anderson, K. E., & Fahimipour, A. K. (2021). Body size dependent dispersal influences stability in heterogeneous metacommunities. *Scientific Reports*, 11, 17410.
- Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2021). *Ecology: From individuals to ecosystems* (5th ed.). Wiley.
- Bowman, W. D., & Hacker, S. D. (2024). *Ecology*. Oxford University Press.
- Carpentier, C., Barabás, G., Spaak, J. W., & De Laender, F. (2021). Reinterpreting the relationship between number of species and number of links connects community structure and stability. *Nature Ecology & Evolution*, 5, 1102–1109.
- Chase, J. M., *et al.* (2020). Species richness change across spatial scales. *Oikos*, 129(8), 1079–1091.
- Dijoux, S., & Boukal, D. S. (2021). Community structure and collapses in multichannel food webs. *Ecology Letters*, 24(8), 1607–1618.
- Estes, J. A., *et al.* (2016). Megafaunal impacts on structure and function of ocean ecosystems. *Annual Review of Environment and Resources*, 41, 83–116.
- Gregorius, H. R., & Gillet, E. M. (2021). Coherence in metacommunity networks. *Theoretical Ecology*, 14, 395–408.

- Isbell, F., *et al.* (2019). Quantifying effects of biodiversity on ecosystem functioning across times and places. *Ecology Letters*, 22(4), 763–778.
- Jones, C. G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (1994). Organisms as Ecosystem Engineers. *Oikos*, 69(3), 373–386.
- Loreau, M., *et al.* (2021). Biodiversity as insurance: from concept to measurement and application. *Biological Reviews*, 96(5), 2333–2354.
- Magurran, A. E. (2021). *Measuring biological diversity*. Wiley-Blackwell.
- Molles, M. C. (2019). *Ecology: Concepts and Applications*. McGraw-Hill Education.
- Odum, E. P., & Barrett, G. W. (2020). *Fundamentals of ecology*. Cengage Learning.
- Oliver, T. H., *et al.* (2018). Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(11), 673–684.
- O'Sullivan, J. D., Terry, J. C. D., & Rossberg, A. G. (2021). Intrinsic ecological dynamics drive biodiversity turnover in model metacommunities. *Nature Communications*, 12, 3627.
- Paine, R. T. (1969). A Note on Trophic Complexity and Community Stability. *The American Naturalist*, 103(929), 91–93.
- Reverter, M., Jackson, M., Rohde, S., *et al.* (2021). High taxonomic resolution surveys and trait-based analyses reveal multiple benthic regimes in North Sulawesi. *Scientific Reports*, 11, 16554.
- Ripple, W. J., *et al.* (2019). What is a trophic cascade? *Trends in Ecology & Evolution*, 31(11), 842–849.

- Sîrbu, I., Benedek, A. M., & Sîrbu, M. (2021). Variation partitioning in double-constrained multivariate analyses. *Oecologia*, 197, 43–59.
- Smith, T. M., & Smith, R. L. (2018). *Elements of Ecology*. Pearson Education.
- Tilman, D., Isbell, F., & Cowles, J. M. (2020). Biodiversity and ecosystem functioning. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45, 471–493.
- Vellend, M. (2016). *The Theory of Ecological Communities*. Princeton University Press.

BIODATA PENULIS



Prof. Dr. Tarzan Purnomo, M.Si.

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas MIPA Universitas Negeri Surabaya

Penulis lahir di Mojokerto, Jawa Timur 5 Mei 1965. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Surabaya sejak 1992. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA IKIP Surabaya (1991), S2 Program Studi Biologi, Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta (1998), dan Program Doktor (S3) Lingkungan Pesisir dan Lautan, Program Pascasarjana Universitas Brawijaya Malang (2011). Mengikuti *Postdoctoral Programe* Marine Ecology di Victoria University of Wellington, New Zealand (2013). Penulis menekuni bidang Ekologi, Ekologi Perairan, Ekologi Laut, Biologi Perairan, Ilmu Lingkungan, Konservasi Sumber Daya Alam, Manajemen Ekosistem Perairan, serta Ekologi Pesisir dan Kelautan. Sejak 2023 sebagai Ketua Konsorsium Mitra Bahari (KMB) Regional Center Jawa Timur, dan Pengurus Himpunan Ahli Pengelolaan Pesisir Indonesia (HAPPI) Cabang Jawa Timur.

BIODATA PENULIS



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

Penulis lahir 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 yaitu: SD (1972-1978); SMP (1978-1981); SMPP 32 Denpasar (SMA Negeri 5 Denpasar) tahun 1981- 1984. Pendidikan Tinggi S1 Pendidikan Biologi (1985-1990); S1 Pertanian (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, Bali. Dosen PNS Kopertis Wil. VIII (sekarang LLDIKTI) Wil. VIII tahun 1991 yang dipekerjakan (dpk) pertama di Universitas Katolik Widya Mandira Kupang, tahun 1993 direkomendasi di IKIP PGRI Bali yang sekarang menjadi Universitas PGRI Mahadewa Indonesia, di Denpasar-Bali. Penulis ditempatkan (*homebase*) di Program Studi Pendidikan Biologi dan 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 sebagai Ketua Badan Penjamin Mutu (BPM) (2015-2020) dan Ketua Kode Etik di tingkat institusi (2020-2030) dan beberapa jabatan organisasi di luar kampus. Penulis pernah memenangkan hibah penelitian dan pengabdian dari Perguruan Tinggi, Pemda dan Kementerian, termasuk hibah dari BRIN tahun 2020, Fundamental, RIKUB dan Pengabdian Mahasiswa Berdampak, Pendamping kegiatan Program Kosabangsa dari DPPM Kemristekdikti. Penulis hingga kini mengajar di Prodi Pendidikan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi (FST) Universitas PGRI Mahadewa Indonesia (UPMI) Bali. Penulis sebagai Asesor Nasional BKD serta penulis buku ber ISBN dan *Book Chapter*:

Penulis tunggal Buku: “Manisnya Brotowali (*Tinospora crispa* L. Mier) sebagai Fitofarmasida”. Buku ber ISBN terbit bulan Juli 2021. (https://drive.google.com/folderview?id=14LFZTSDwsgqORvHx0phf_Z6NFo6TUBz-).

Penulis tunggal Buku: Stroberi Sehat “Petik Langsung” Trend Agrowisata. Buku ber ISBN. Terbit 16 Februari 2023. (<https://globaleksekitifteknologi.co.id/stroberi-sehat-petik-langsung-trend-agrowisata/>)

Tim Penulis Buku: Eksplorasi, Isolasi & Pemanfaatan PGPR (*Plant Growth Promoting Rizobacteria*) pada Tanaman Padi. Terbit Agustus 2023. https://drive.google.com/file/d/12iKWZWnOfqINdoiqONqtCag-mDOtxQgt/view?usp=share_link

Sertifikat Paten: Proses untuk Memacu Perkecambahan Benih Padi Menggunakan Suspensi Rizobakteri *Pseudomonas alcaligenes*. No. Paten: IDS000009452 https://drive.google.com/file/d/1pK6xsui_XZclNy7pVeF4nj5NEtQ-UwvH/view?usp=drive_link

BIODATA PENULIS



Herlina Putri Endah Sari, S.Si., M.Sc.

Dosen Program Studi Biologi

Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Samudra

Penulis lahir di Bojonegoro (Jawa Timur) pada Desember 1990. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Biologi di Universitas Negeri Malang dan menyelesaikan pendidikan S2 pada Program Studi Biologi di Universitas Gadjah Mada bidang Entomologi. Saat ini Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Samudra, Aceh. Bidang keahlian pengajaran yaitu bidang Entomologi, Biosistematika dan Ekologi.

Penulis memiliki minat penelitian utama pada keanekaragaman hayati serangga (insekta) di wilayah Aceh dan Sumatra, mencakup studi taksonomi, biosistematika, ekologi populasi, serta konservasi spesies. Fokus penelitiannya meliputi Ordo Lepidoptera (kupu-kupu), Odonata (capung), Araneae (laba-laba), serta serangga hama

pertanian. Selain itu, penulis juga aktif dalam kajian bioindikator lingkungan dan biodiversitas kawasan urban.

BIODATA PENULIS



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

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

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

BIODATA PENULIS



Dr. Nuraeni L. Rapi, S.Pi., M.Si

Dosen Program Studi Penangkapan Ikan
Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan

Penulis lahir di Makassar 4 September 1985. Penulis merupakan Dosen pada Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa. Lulus S-1 di Program Studi Pemanfaatan Sumber Daya Perikanan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin (2003-2007), S-2 di Program Studi Ilmu Perikanan Universitas Hasanuddin (2009-2011), S-3 di Program Studi Ilmu Perikanan Universitas Hasanuddin (2018-2021). Sebagai narasumber di berbagai pelatihan dan pengabdian kepada masyarakat. Aktif menulis di berbagai jurnal ilmiah nasional dan Internasional. Saat ini penulis mengajar mata kuliah Dasar-dasar Penangkapan, Dinamika Populasi, Bioekonomi Perikanan, Manajemen Operasi Penangkapan Ikan dan Perikanan Tangkap Berkelanjutan. Penulis telah menghasilkan buku referensi Kerapu Macan : Biologi, Dinamika Populasi, Kondisi Stok dan Keberlanjutannya. Beberapa *Book Chapter* dengan judul Menyibak Dunia Lain, Buku Ekonomi Biru Untuk Keberlanjutan Indonesia, Pengelolaan Limbah dan Perikanan

Ekologi Hewan:

Interaksi, Adaptasi, dan Dinamika Populasi

Air Tawar. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail :
nuraeni@itbm.ac.id

BIODATA PENULIS



Kartika Aprilia Putri, S.Pd., M.Si.

Dosen Program Studi Biologi

Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Samudra

Penulis lahir pada tanggal 20 April 1990 di Stabat, Kabupaten Langkat, Sumatra Utara, merupakan Dosen Biologi di Universitas Samudra, Aceh, sejak Tahun 2017 sampai sekarang. Menempuh Sarjana Pendidikan Biologi di Universitas Negeri Medan pada Tahun 2008, lalu melanjutkan studi di Program Magister Biologi di Institut Teknologi Bandung pada tahun 2014. Sejak kuliah hingga saat ini, Kartika aktif dalam melakukan penelitian di bidang biologi khususnya tentang serangga hama pada tanaman perkebunan. Mata kuliah yang diampu antara lain Pengelolaan Hama Biologi, Ekologi Hewan, Entomologi, Manajemen Sumber Daya Pesisir Dan Pantai, Ekologi Lahan Basah dan Biogeografi dan sampai saat ini aktif menulis artikel ilmiah.

BIODATA PENULIS



Nursia, S.Pd., M.Si

Dosen Program Studi Pendidikan Biologi

Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Universitas Borneo Tarakan

Penulis lahir di Kassa, Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan, dan merupakan anak bungsu dari empat bersaudara. Masa kecil hingga remajanya dihabiskan di Kota Tarakan, Kalimantan Utara, tempat ia menempuh pendidikan di SD Negeri 033 Tarakan, SMP Negeri 4 Tarakan, dan Madrasah Aliyah Negeri (MAN) Tarakan. Ketertarikannya terhadap ilmu biologi tumbuh sejak dini dan terus berkembang hingga membawanya menempuh pendidikan tinggi di Jurusan Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Borneo Tarakan (UBT). Pada tahun 2010, ia berhasil meraih gelar Sarjana Pendidikan Biologi.

Keinginan untuk memperdalam kajian ilmu hayati membawanya melanjutkan studi magister di Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati (SITH), Institut Teknologi Bandung (ITB), melalui Program Magister Biologi. Pengalaman akademik tersebut semakin memperkuat minat dan

kompetensinya dalam bidang ekologi, etnozooologi, etnobiologi, serta konservasi sumber daya hayati.

Sebelum berkarier sebagai akademisi, Nursia sempat menekuni dunia jurnalistik sebagai reporter di salah satu stasiun televisi lokal di Kota Tarakan. Pengalaman tersebut memberinya wawasan mengenai pentingnya komunikasi ilmiah dan kedekatan dengan masyarakat, yang kemudian menjadi bagian penting dalam perjalanan profesinya sebagai pendidik dan peneliti. Saat ini, Nursia merupakan dosen di Program Studi Pendidikan Biologi, FKIP Universitas Borneo Tarakan. Ia aktif melaksanakan tridarma perguruan tinggi melalui kegiatan pengajaran, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat.

Bagi-Nya, ilmu pengetahuan tidak hanya hadir sebagai konsep akademik, tetapi juga sebagai sarana untuk membangun kesadaran manusia terhadap pentingnya menjaga keseimbangan alam. Ia meyakini bahwa pemahaman terhadap ekosistem merupakan bagian dari upaya memahami hubungan harmonis antara manusia, hewan, dan lingkungan. Melalui aktivitas akademiknya, ia berupaya menanamkan nilai bahwa mempelajari biologi bukan sekadar memahami makhluk hidup, tetapi juga belajar menjadi manusia yang lebih bijaksana, peduli, dan bertanggung jawab terhadap alam.