

BIOLOGI LINGKUNGAN

**Sunarno Sastroatmodjo
Isna Arofatur Nikmah
I Wayan Suanda
Irfan Martiansyah
Anita Hakim
Muhammad Rifqi Hariri
Oktavius Yoseph Tuta Mago
Rizmoon Nurul Zulkar
Nurcahyo Widyodaru
A.A Istri Mirah Dharmadewi
Latifa Nuraini**



GET PRESS INDONESIA

BIOLOGI LINGKUNGAN

Penulis :

Sunarno Sastroatmodjo
Isna Arofatur Nikmah
I Wayan Suanda
Irfan Martiansyah
Anita Hakim
Muhammad Rifqi Hariri
Oktavius Yoseph Tuta Mago
Rizmoon Nurul Zulkar
Nurchahyo Widyodaru
A.A.Istri Mirah Dharmadewi
Latifa Nuraini

ISBN :

Editor : Mila Sari, S.ST., M.Si

Rantika Maida Sahara., S.Tr.Kes

Penyunting : Melda Yenisa., S.K.M

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

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

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

Cetakan pertama, Desember 2023

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

KATA PENGANTAR

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

Buku ini membahas Pengantar Ekologi, Faktor Lingkungan Abiotik, Faktor Lingkungan Biotik, Populasi dan Dinamika Populasi, Keanekaragaman Hayati, Interaksi Antar Spesies, Siklus Biogeokimia, Ekosistem Terestrial, Ekosistem Air Tawar, Ekosistem Laut, Kerentanan Terhadap Perubahan Lingkungan.

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

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

Padang, Desember 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB 1 PENGANTAR EKOLOGI.....	1
1.1 Definisi, Asas Dan Konsep Ekologi.....	1
1.1.1 Definisi/Pengertian Ekologi	1
1.1.2 Asas Ekologi.....	1
1.1.3 Konsep Ekologi.....	3
1.1.4 Suksesi	4
1.2 Klasifikasi, Ruang Lingkup Dan Manfaat Ekologi.....	5
1.2.1 Klasifikasi Ekologi	5
1.2.2 Lingkup Ekologi	6
1.2.3 Fungsi Ekologi.....	8
DAFTAR PUSTAKA	10
BAB 2 FAKTOR LINGKUNGAN ABIOTIK.....	11
2.1 Pendahuluan.....	11
2.2 Jenis-jenis Faktor Abiotik.....	15
2.2.1 Suhu	15
2.2.2 Cahaya Matahari.....	18
2.2.3 Air	20
2.2.4 Tanah	22
2.2.5 Angin.....	24
2.2.6 Kadar Oksigen	27
2.2.7 Ketinggian Tempat.....	28
2.2.8 pH	29
2.2.9 Topografi dan Geologi.....	30
2.2.10 Bencana Alam.....	32
DAFTAR PUSTAKA	35
BAB 3 FAKTOR LINGKUNGAN BIOTIK.....	41
3.1 Pendahuluan.....	41
3.2 Ekosistem.....	42
3.2.1 Individu	43
3.2.2 Populasi.....	43
3.2.3 Komunitas	43
3.3 Komponen Biotik.....	44

3.3.1 Organisme Autotrof	44
3.3.2 Organisme Heterotrof	46
3.3 Interaksi Faktor Biotik	48
3.3.1 Kompetisi.....	48
3.3.2 Simbiosis	48
3.3.3 Interaksi Intraspecies	51
3.3.4 Interaksi Interspecies atau Interspesifik.....	53
3.4 Hubungan Lingkungan Biotik.....	53
3.5 Faktor Pembatas.....	56
DAFTAR PUSTAKA	58
BAB 4 POPULASI DAN DINAMIKA POPULASI.....	61
4.1 Pendahuluan.....	61
4.2 Sejarah Perkembangan Dinamika Populasi	61
4.3 Apa itu Populasi dan Dinamika Populasi?	64
4.3.1 Pengertian Populasi.....	64
4.3.2 Pengertian Dinamika Populasi	64
4.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Dinamika Populasi .	65
4.4.1 Laju Kelahiran (<i>Birth Rate</i>) dan Kematian (<i>Death Rate</i>).....	66
4.4.2 Migrasi	66
4.4.3 Interaksi Antarspecies	67
4.4.4 Ketersediaan Sumber Daya.....	68
4.4.5 Perubahan Iklim	68
4.4.6 Predasi dan Prakondisi.....	69
4.4.7 Keanekaragaman Genetik	70
4.4.8 Gangguan Manusia.....	70
4.5 Jenis-jenis Dinamika Populasi	71
4.5.1 Dinamika Populasi Eksponensial.....	71
4.5.2 Dinamika Populasi Logistik.....	71
4.5.3 Dinamika Populasi Siklus.....	71
4.5.4 Dinamika Populasi Irregular	72
4.5.5 Dinamika Populasi Terancam Punah.....	72
4.5.6 Dinamika Populasi Hewan.....	72
4.5.7 Dinamika Populasi Tumbuhan	74
4.6 Upaya Pelestarian Hewan dan Tumbuhan dalam Hubungannya dengan Dinamika Populasi.....	75
4.6.1 Pelestarian Hewan Terancam Punah	76

4.6.2 Konservasi Tumbuhan Endemik	76
4.6.3 Pelestarian Habitat Alami.....	76
4.6.4 Mengurangi Ancaman Manusia	76
4.6.5 Peran Teknologi dalam Pelestarian	77
4.6.6 Restorasi Ekosistem	77
4.6.7 Keterlibatan Masyarakat.....	77
DAFTAR PUSTAKA	78
BAB 5 KEANEKARAGAMAN HAYATI.....	83
5.1 Konsep Keanekaragaman Hayati.....	83
5.2 Keanekaragaman Tingkat Genetik.....	84
5.2.1 Variasi Kromosom	84
5.2.2 Variasi Morfologi.....	85
5.2.3 Variasi Tingkat Genetik.....	85
5.3 Keanekaragaman Tingkat Spesies	87
5.4 Keanekaragaman Tingkat Ekosistem	89
5.5 Manfaat Keanekaragaman Hayati	89
5.5.1 Manfaat Keanekaragaman Hayati di bidang ekonomi.....	89
5.5.2 Manfaat Keanekaragaman Hayati di Bidang Ekologi.....	90
5.5.3 Manfaat Keanekaragaman Hayati di Bidang IPTEK.....	91
5.5.4 Manfaat Keanekaragaman Hayati di Bidang Sosial dan Budaya	91
5.6 Ancaman.....	92
5.6.1 Jenis Hewan Terancam Punah.....	92
5.6.2 Jenis Tumbuhan Terancam Punah.....	93
5.7 Konservasi Keanekaragaman Hayati	93
DAFTAR PUSTAKA	95
BAB 6 INTERAKSI ANTAR SPESIES	97
6.1 Pendahuluan.....	97
6.2 Predasi	98
6.3 Kompetisi.....	100
6.4 Mutualisme	102
6.5 Parasitisme	104
6.6 Komensalisme	106
6.7 Amensalisme	107

6.8 Netralisme	109
DAFTAR PUSTAKA	111
BAB 7 SIKLUS BIOGEOKIMIA	117
7.1 Pendahuluan.....	117
7.2 Siklus Karbon (C).....	118
7.2.1 Siklus Karbon Jangka Panjang.....	120
7.2.2 Siklus Karbon Jangka Pendek.....	123
7.3 Siklus Nitrogen (N)	124
7.4 Siklus Sulfur (S)	127
7.5 Siklus Fosfor (P)	128
7.6 Siklus Air (H ₂ O).....	130
7.7 Penutup	131
DAFTAR PUSTAKA	133
BAB 8 EKOSISTEM TERESTRIAL	135
8.1 Pendahuluan.....	135
8.2 Apa itu Ekosistem Terestrial	136
8.2.1 Definisi dan Lingkup Ekosistem Teretrial.....	136
8.2.2 Faktor-faktor Abiotik yang Mempengaruhi Ekosistem Terestrial.....	137
8.3 Komponen Biologis dalam Ekosistem Terestrial.....	142
8.2.1 Spesies kunci	142
8.2.2 Peran Populasi dalam Keseimbangan Ekosistem.....	143
8.4 Bentuk-bentuk bentang alam Ekosistem Terestrial	144
DAFTAR PUSTAKA	147
BAB 9 EKOSISTEM AIR TAWAR.....	151
9.1 Komponen Utama Ekosistem Air Tawar	151
9.1.1 Air sebagai medium kehidupan.....	152
9.1.2 Organisme dan Keanekaragaman Hayati.	153
9.1.3Vegetasi Riparian	154
9.2 Proses dan Dinamika Ekosistem	155
9.2.1 Siklus Nutrien	156
9.2.2 Interaksi Makhluk Hidup	159
9.2.3 Perubahan Musiman dan Lingkungan.....	161
9.3 Pengaruh Manusia pada Ekosistem Air Tawar	162
9.3.1 Pencemaran Air dan Perubahan Lingkungan.....	162
9.3.2 Pengelolaan Sumber Daya Air	164
9.4 Konservasi dan Keberlanjutan.....	165

9.4.1 Pendekatan Konservasi Ekosistem Air Tawar	165
9.4.2 Peran Masyarakat dalam Pelestarian Ekosistem Air Tawar.....	167
DAFTAR PUSTAKA	169
BAB 10 EKOSISTEM LAUT	173
10.1 Pendahuluan	173
10.2 Ciri-Ciri Ekosistem Laut.....	175
10.3 Ekosistem Laut.....	178
10.4 Ekosistem Terumbu Karang.....	180
10.5 Permasalahan Ekosistem Laut.....	180
10.6 Ekosistem Tumbuhan Lamun	181
10.7 Ekosistem Estuaria	183
DAFTAR PUSTAKA	187
BAB 11 KERENTANAN TERHADAP PERUBAHAN LINGKUNGAN.....	189
11.1 Pendahuluan	189
11.2 Pengaruh Langsung Terhadap Perubahan Lingkungan	191
11.2.1 Fenologi	191
11.2.2 Fisiologi.....	193
11.2.3 Morfologi.....	194
11.3 Pengaruh Tidak Langsung Terhadap Perubahan Lingkungan	195
11.3.1 Kesuburan Tanah	195
11.3.2 Ketersediaan Air.....	196
11.3.3 Hama Dan Penyakit	197
DAFTAR PUSTAKA	199
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Eutrofikasi di Teluk Chesapeake	13
Gambar 2.2. Beruang kutub betina dewasa yang mati di lautan es.....	14
Gambar 2.3. Mekanisme pertukaran panas pada spesies ektotermik.....	17
Gambar 2.4. Pengaruh sinar UV pada tumbuhan.....	20
Gambar 2.5. Adaptasi tumbuhan gurun pada lingkungan kering	22
Gambar 3.1. Komponen Biotik dan Abiotik dalam Biosistem	41
Gambar 3.2. Proses Fotosintesis	45
Gambar 3.3. Tanaman Bunga Penghasil Nektar yang disukai Serangga dan Lebah Madu.....	46
Gambar 3.4. Serangga Mencari Nektar pada Tanaman Santos Lemon dan Jastrofa.....	49
Gambar 3.5. Ikan Hiu dan Remora Hidup Berdampingan Mencari Pakan.....	49
Gambar 3.6. Simbiosis Parassitisme pada Tumbuhan ...	50
Gambar 3.7. <i>Trichoderma asperillum</i> Menghambat <i>Schizopillum commune</i>	51
Gambar 3.8. Penyerbukan Silang (Alogami) pada Tanaman Bunga.....	52
Gambar 3.9. Pintu Masuk Taman <i>Chytachea</i> yang mengkoleksi jenis Paku-Pakuan	52
Gambar 3.10. Adaptasi Bunglon dengan Daun Tanaman untuk Menyelamatkan Diri	55
Gambar 3.11. Faktor Lingkungan Biotik Saling Interaksi	56
Gambar 4.1. Empat ahli yang berpengaruh dalam perkembangan teori dinamika populasi a) Alfred Lotka b) Vito Volterra c) G.Evelyn Hutchinson d) A. J. Nicholson	63

Gambar 4.2. Populasi burung Jalak Bali di Taman Nasional Bali Barat (TNBB) dan populasi kantong semar di Pulau Bangka Belitung.....	64
Gambar 4.3. Ilustrasi dinamika populasi anjing.....	65
Gambar 4.4. Tingkat kelahiran kasar di negara-negara berdaulat ditambah Greenland, Guyana Prancis, Kaledonia Baru, dan Puerto Riko.....	66
Gambar 4.5. Burung di Amerika Utara meninggalkan tempat berkembang biaknya dan bermigrasi ke daerah lain untuk menghabiskan musim dingin.....	67
Gambar 4.6. Ilustrasi interaksi antarspesies.....	67
Gambar 4.7. Memvisualisasikan populasi global berdasarkan tingkat ketahanan dan ketersediaan air.....	68
Gambar 4.8. Perubahan iklim dan pemanasan global	69
Gambar 4.9. Skema ilustrasi predasi dan kaitannya dengan dinamika populasi	69
Gambar 4.10. Hubungan antara keanekaragaman genetik dan jumlah populasi.....	70
Gambar 4.11. Pencemaran udara dan sampah yang menggunakan.....	70
Gambar 5.1. Kupu-kupu pada TN-BaBul	88
Gambar 5.2. Spesies Kupu-kupu dilindungi pada TN-BaBul.....	94
Gambar 6.1. Gambaran skematis interaksi antar spesies.....	98
Gambar 6.2. Predasi yang dilakukan oleh berunag terhadap ikan salmon	100
Gambar 6.3. Kompetisi intraspesies dalam penentuan area makan pada beruang	102
Gambar 6.4. Simbiosis mutualisme antara kupu-kupu dan bunga.....	104
Gambar 6.5. Parasitisme yang dilakukan oleh nyamuk terhadap manusia.....	105

Gambar 6.6. Komensalisme yang dilakukan anggrek terhadap batang pohon.....	107
Gambar 6.6. Proses amensalisme yang terjadi antara pohon dengan kanopi lebih lebar terhadap tumbuhan di bawahnya.....	109
Gambar 6.6. Netralisme yang antara antelop, zebra, dan rusa di sumber air.....	110
Gambar 7.1. Konsentrasi CO ₂ dalam periode 1751-2022.....	119
Gambar 7.2. Konsentrasi CO ₂ di atmosfer bumi selama periode 800.000 tahun	121
Gambar 7.3. Siklus karbon jangka panjang	122
Gambar 7.4. Kelebihan CO ₂ di atmosfer dan dampaknya baik kehidupan laut	123
Gambar 7.5. Siklus karbon jangka pendek	124
Gambar 7.6. Siklus nitrogen.....	125
Gambar 7.7. Dua tahapan nitrifikasi.....	126
Gambar 7.8. Siklus sulfur	128
Gambar 7.9. Siklus fosfor	129
Gambar 7.10. Perbandingan air yang ada di bumi	130
Gambar 7.11. Siklus air	131
Gambar 8.1. Salah satu contoh Bentang alam ekosistem terestrial, Hutan alam pegunungan Taman Nasional Gunung Ciremai.....	137
Gambar 8.2. Tumbuhan <i>Ficus ribes</i> di Taman Nasional Gunung Ciremai	143
Gambar 8.3. Ekosistem tundra.....	146
Gambar 10.1. Relief dasar Laut.....	176
Gambar 10.2. Wilayah Laut.....	177
Gambar 10.3. Ekosistem Laut	178
Gambar 10.4. Ekosistem Lamun	182
Gambar 11.1. Contoh Anggrek <i>Ophrys episcopalis</i> dengan polinatornya	193
Gambar 11.2. Proses pertukaran H dan O pada pohon dan lingkungannya	194
Gambar 11.3. Transformasi morfologi multiskala antar sistem akar	195

Gambar 11.4. Ketersediaan air akibat perubahan iklim	196
Gambar 11.5. Dampak perubahan iklim terkait dengan aktifitas mikroba dalam tanah dan kemungkinan penyebab hama dan penyakit.....	197

BAB 1

PENGANTAR EKOLOGI

Oleh Sunarno SastroAtmodjo

1.1 Definisi, Asas Dan Konsep Ekologi

1.1.1 Definisi/Pengertian Ekologi

Ekologi dapat dimaknai sebagai ilmu yang mempelajari makhluk hidup dalam tempat hidupnya, dalam arti ilmu yang mempelajari hubungan timbal-balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya. Ekologi juga dapat didefinisikan sebagai pengetahuan yang membahas tentang interaksi yang menentukan distribusi dan kelimpahan suatu organisme (menurut Krebs). Dapat dinyatakan bahwa ekologi dapat dikategorikan sebagai ilmu lingkungan, yang khusus mengkaji keterkaitan antara makhluk hidup dengan lingkungan hidup di sekitarnya (Ricklefs). (<https://www.detik.com/jabar/berita/d-6241039/ekologi-adalah-pengertian-konsep-ruang-lingkup-dan-manfaat>)

Ekologi mempelajari hubungan antara makhluk hidup dengan lingkungan sekitarnya. Ekologi pertama kali digunakan oleh Ernst Haeckel, seorang ahli biologi dari Jerman. Sehingga ekologi digolongkan ke lingkup cabang biologi. N.H.T. Siahaan menyatakan dalam bukunya Hukum Lingkungan dan Ekologi Pembangunan (2004), bahwa ekologi adalah cabang ilmu pengetahuan eksakta yang menelisik keterkaitan makhluk hidup atau organisme dengan lingkungan di sekitarnya (<https://www.kompas.com/skola/read/2021/04/16/163119269/ekologi-definisi-ruang-lingkup-asas-dan-manfaatnya?page=all>).

1.1.2 Asas Ekologi

K.E.S. Manik, menulis bahwa ekologi mempunyai banyak asas yang sering diimplementasikan. Beberapa asas tersebut antara lain yaitu:

1. Asas Energi

Asas energi ini mengkonsepsikan bahwa energi yang terkandung pada setiap individu, populasi, komunitas, serta ekosistem dihitung sebagai energi yang tersimpan atau yang dapat dilepas. Dari pernyataan tersebut memiliki arti bahwa energi dapat dikonversi bentuknya, namun tidak musnah dan tidak dapat diadakan. Sebagai misal tumbuhan menghasilkan makanan karena cahaya mentari. Sekanjutnya makanan tersebut dimakan oleh organisme yang lain, baik oleh binatang atau manusia, sehingga bahan makanan tadi melakukan perubahan menjadi energi dan kemudian terlepas ke alam bebas.

2. Asas Inefisiensi

Asas ini di dalam ekologi merupakan pernyataan bahwa tidak ada satu sistem pemanfaatan energipun yang ddianggap efisien. Dalam arti tidak segala energi dapat digunakan dalam melakukan suatu aktivitas hidup. Misalnya benda dalam keadaan panas dapat memancarkan energi panasnya kepada benda di sekitarnya yang temperaturnya yang lebih dingin.

3. Asas Kesejahteraan

Asas ini di dalam ekologi yaitu material, energi, waktu dan keanekaragaman hayati tergolong ke dalam sumber daya alam. Dalam arti bahwa sumber daya alam jenis ini tidak bersumber dari manusia namun dapat digunakan untuk meningkatkan kesejahteraan manusia.

4. Asas Pemanfaatan

Asas ini di dalam ekologi merupakan bertambahnya peningkatan ketersediaan sumberdaya alam dapat memengaruhi suatu hal yang lain. Dalam arti sumber daya alam yang ada dapat mempengaruhi keadaan pemanfaatan air, energi, serta hasil proses produksi yang lain.

5. Asas Persaingan

Asas ini dalam ekologi yaitu bahwa organisme yang lebih cepat menyesuaikan diri akan lebih mampu dalam bersaing. Dalam arti organisme yang memiliki kemampuan penyesuaian dirinya tinggi dapat lebih mudah dalam bersaing, ditinjau dari segi fisiologis ataupun dari segi morfologis. (<https://www.kompas.com/skola/read/2021/04/16/163119269/ekologi-definisi-ruang-lingkup-asas-dan-manfaatnya?page=all>).

1.1.3 Konsep Ekologi

Terdapat berbagai konsep yang merupakan bagian dari ekologi, yaitu:

1. Lingkungan

Dikatakan bahwa lingkungan berwujud suatu sistem kompleks yang terdapat di luar individu yang mempengaruhi makhluk hidup. Atas dasar sifatnya, lingkungan dapat dibedakan menjadi dua yakni lingkungan biotik dan lingkungan abiotik.

a. Lingkungan Abiotik

Lingkungan abiotik merupakan komponen yang meliputi benda tidak hidup yang mempengaruhi seluruh organisme. Antara lain yaitu: tanah, air, udara, sinar matahari, serta topografi.

b. Lingkungan Biotik

Lingkungan biotik merupakan komponen yang meliputi semua faktor hidup yang melingkupi seluruh organisme di permukaan maupun di dalam perut bumi, yang berupa mikroorganisme, tumbuhan, hewan dan manusia. Atas dasar perannya pada ekosistem, komponen yang bersifat hidup ini dibagi menjadi 3 (tiga) yaitu unsur produsen (penghasil), unsur konsumen (pemakan), unsur dekomposer (pengurai)

2. Ekosistem

Ekosistem merupakan suatu unit ekologi yang di dalamnya terkandung struktur dan fungsi, itu yang dinyatakan oleh

Tansley. Struktur yang disebut Tansley pada ekosistem ini berkaitan dengan keanekaragaman jenis atau spesies, yang disebut fungsi yang berhubungan dengan daur material dan aliran energi yang dapat berproses melalui komponen ekosistem. Dapat juga didefinisikan bahwa ekosistem sebagai satuan yang mencakup semua makhluk hidup pada suatu wilayah tertentu yang saling berhubungan dengan lingkungan di sekitarnya sehingga terjadi arus energi di dalamnya (Odum, 1971). Susunan ekosistem terhimpun atas berbagai petunjuk yang mengarah pada kondisi sistem ekologi, pada saat dan area tertentu. Ekosistem tersusun atas kepatan, material, energi, serta faktor-faktor fisiko-kimiawi lainnya yang menjadi karakter sistem (Odum, 1971)

1.1.4 Suksesi

Suksesi dapat didefinisikan sebagai bentuk perubahan pada komunitas yang terbentuk atas akibat adanya perubahan lingkungan, yang terjadi secara lambat, sistematis serta tertuju untuk mengarah kestabilan. Suatu suksesi dapat terus terjadi hingga mencapai titik klimaks, yaitu keadaan suatu komunitas mendapatkan titik ekuilibrium keadaan. Terdapat dua jenis suksesi, ya suksesi primer dan suksesi sekunder.

1. Suksesi Primer

Suksesi ini berlangsung atas sebab ekosistem terkena gangguan yang bersifat sangat berat sampai komunitas yang ada musnah atau rusak atau hancur secara total. Contohnya pada peristiwa bencana tsunami, erupsi gunung berapi, kegiatan ekstraksi bahan tambang, serta yang lainnya.

2. Suksesi Sekunder

Suksesi ini berlangsung karena ekosistem yang menderita kerusakan namun bersifat tidak total, dalam arti masih ada unsur-unsur yang tersisa. Sebagai contoh pada kerusakan akibat bencana banjir, kebakaran, tanah longsor, pembukaan lahan pertanian dan perkebunan, maupun yang lainnya.

(<https://www.detik.com/jabar/berita/d-6241039/ekologi-adalah-pengertian-konsep-ruang-lingkup-dan-manfaat>)

1.2 Klasifikasi, Ruang Lingkup Dan Manfaat Ekologi

1.2.1 Klasifikasi Ekologi

1. Klasifikasi Atas Dasar Tingkat Organisasi Makhluk Hidup:

Ekologi dapat diklasifikasikan menurut tingkat organisasi kehidupannya:

- a. **Autekologi**, yaitu ekologi yang khusus mempelajari suatu jenis (spesies) makhluk hidup, yang berinteraksi dengan lingkungannya. Umumnya difokuskan pada segi daur hidup, penyesuaian terhadap lingkungan, sifat parasitis atau non parasitis, dan lain sebagainya. Misalnya peneliti hanya melakukan studi terhadap segenap seluk beluk ekologi ilalang (*Imperata cylindrica*); atau hanya meneliti seluk beluk ekologi (*Pongo pygmaeus*) di habitat alam aslinya, dan lain sebagainya.
- b. **Sinekologi**; yaitu ekologi yang mengkaji terhadap berbagai kelompok makhluk hidup, sebagai suatu kesatuan yang saling berinteraksi dalam suatu area tertentu. Kerap juga kita dengar terminologi lain seperti; Ekologi jenis, ekologi populasi, ekologi komunitas, maupun ekologi ekosistem. Akan tetapi kini banyak ditemui trend untuk menghindari klasifikasi sebagaimana tertulis di atas (Sudjiran R., Kuswata K., Apriliani S., 1985; Sunarno SastroAtmodjo, 2023).

2. Penggolongan Menurut Habitat

Banyak juga ahli ekologi yang membuat studi lingkungan menurut habitat atau tempat hidup suatu jenis atau kelompok jenis tertentu dari organisme, seperti berikut:

- a. Ekologi terrestrial;
 - Ekologi Hutan
 - Ekologi savanna
 - Ekologi steppa
 - Ekologi dataran tinggi
 - Ekologi pesisir

- b. Ekologi perairan;
Ekologi perairan laut
Ekologi perairan tawar
Ekologi perairan payau

3. Penggolongan menurut taksonomi,

Penggolongan ini sesuai dengan taksonomi makhluk hidup, yaitu:

- a. Ekologi tumbuhan;
Ekologi lumut
Ekologi ilalang
Ekologi cendana
Ekologi jati
- b. Ekologi hewan;
Ekologi serangga
Ekologi ikan
Ekologi burung
Ekologi primata
Ekologi mikroba

4. Penggolongan Menurut Bidang Kajian

Ekologi dapat diklasifikasikan sesuai dengan bidang kajiannya, yaitu:

Ekologi pertanian
Ekologi kesehatan
Ekologi perikanan

1.2.2 Lingkup Ekologi

Berikut beberapa lingkup ekologi, yang dikutip dari Jurnal Universitas Medan Area,:

1. Individu
Individu yaitu sebagai unit makhluk hidup atau organisme dari masing-masing spesies atau jenis tertentu di satu lingkungan hidup. Misalnya seekor ular, seekor ayam, seekor badak dan lain-lainnya.
2. Populasi
Populasi merupakan satu kumpulan atas banyak individu

dengan jenis yang sama dan berada di satu area tertentu, serta pada saat tertentu pula. Misalnya populasi-populasi urang hutan, kangguru, cendana dan sebagainya.

3. Komunitas

Komunitas yaitu suatu kelompok organisme yang terdiri dari beberapa populasi, serta saling melakukan interaksi antara satu dengan yang lainnya, dalam suatu area atau suatu tempat tertentu, serta pada saat atau waktu tertentu. Sebagai contoh komunitas savana atau komunitas stepa, yang terhimpun atas populasi-populasi rumput, belalang, burung, ular, serta yang lain sebagainya.

4. Ekosistem

Ekosistem yaitu keadaan berprosesnya interaksi timbal-balik serta keterkaitan saling ketergantungan antara organisme dengan lingkungan hidupnya. Misalnya: ekosistem dataran tinggi, ekosistem perairan payau, serta ekosistem perairan laut.

5. Biosfer

Biosfer yaitu tingkat organisasi biologi yang terbesar dan luas, serta di dalamnya didapat seluruh kehidupan yang terdapat di dalam dan muka bumi. Pada biosfer didapat hubungan antara lingkungan biotik, lingkungan fisik dan lingkungan lingkungan secara global dan menyeluruh.

Lanskap memiliki fokus terhadap berbagai faktor pengendali atau factor pembatas yang mengatur dan mengendalikan pertukaran energi dan material organik dan anorganik pada suatu ekosistem.

6. Global

Cakupan global berbasis dari pertukaran energi secara kewilayahan serta pengaruh material alam terhadap peran dan persebaran makhluk hidup pada tingkat biosfer. (<https://www.detik.com/jabar/berita/d-6241039/ekologi-adalah-pengertian-konsep-ruang-lingkup-dan-manfaat>)

1.2.3 Fungsi Ekologi

Melakukan studi tentang ekologi mendapatkan banyak manfaat atau fungsi bagi kehidupan manusia dan lingkungan hidupnya. Beberapa fungsi ekologi tersebut antara lain yaitu:

1. **Mengenal Biodiversitas**
Ekologi memberikan kemanfaatan kepada kehidupan manusia untuk mengetahui bermacam-macam organisme serta interaksi timbal-balik antara organisme dengan lingkungan hidupnya.
2. **Mengetahui *Bihavior* organisme**
Ekologi memberi kemanfaatan agar dapat mengetahui behavior organisme serta interaksi dengan lingkungan hidupnya.
3. **Membuat Peta Konsumsi Pangan**
Ekologi bermanfaat agar dapat membuat peta konsumsi pangan dan mengidentifikasi atau memahami susunan serta skala ukuran pangan untuk masing-masing organisme.
4. **Mengendalikan Timbulnya Bibit Penyakit Pada Manusia**
Kita ketahui bahwa sumber penyakit pada manusia, beberapa di antaranya dari organisme tertentu. Sebagai contoh penyakit kolera atau Covid-19. Penyakit ini dapat menjadi wabah ketika meledak populasinya dalam masyarakat.
5. **Mengendalikan Meluasnya Hama dan Penyakit Tanaman**
Biasanya asal hama dan penyakit tanaman muncul saat timbul ketidakseimbangan jumlah populasi yang dikaitkan tidak seimbangan ketersediaan pangan atau pemangsanya. Pada keadaan yang maksimal, pada masing-masing makhluk hidup pembentuk keanekaragaman hayati, total populasinya dapat saling dikendalikan dalam berprosesnya rantai pakan.
6. **Merupakan Pemecahan Persoalan Energi**
Ekologi bermanfaat untuk menopang manusia dalam memastikan adanya cadangan energi untuk membantu aktivitas hidupnya. Contohnya pemanfaatan energi pilihan dari energi matahari dengan maksud untuk menghadirkan energi listrik.
7. **Merupakan Solusi Masalah Pertanian**
Ekologi dapat dimanfaatkan untuk memecahkan berbagai jenis masalah pertanian. Contohnya: banyak petani yang membutuhkan beberapa mikroba yang dapat menghasilkan

nitrat dan ammonium untuk menjaga kesuburan tanah pertaniannya.

8. Mengendalikan Polusi Lingkungan

Suatu polusi lingkungan dapat dikendalikan dengan memahami dan menggunakan konsep ekologi. Vegetasi atau tanaman yang sehat dapat membantu menurunkan bahan polutan yang berupa zat emisi karbon dan dapat meningkatkan kandungan produksi oksigen dalam udara. (<https://www.detik.com/jabar/berita/d-6241039/ekologi-adalah-pengertian-konsep-ruang-lingkup-dan-manfaat>)

DAFTAR PUSTAKA

- Gustianingtyas, M. *et al.* 2020. 'Toxicity of entomopathogenic fungal culture filtrate of lowland and highland soil of South Sumatra (Indonesia) against *Spodoptera litura* larvae', *Biodiversitas*, 21(5), pp. 1839–1849. doi: 10.13057/biodiv/d210510.
- Herlinda, S., Yulia Pujiastuti, Chandra Irsan, Riyanto, Arsi, Erise Anggraini, Tili Karenina, Lina Budiarti, Lilian Rizkie, Dian Maharani Octavia. 2021; *Ekologi Serangga*. Penerbit Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI), Palembang.
- Kadha, F., Supriyanto and Haneda, N. F. 2019. 'Traditional cultivation of *Laccifer lacca* Kerr. in Alor, East Nusa Tenggara', in *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 394 01205, pp. 1–5. doi: 10.1088/1755-1315/394/1/012058.
- Muscle, F. 2020. 'Flight muscle and wing mechanical properties are involved in flightlessness of the domestic silkmoth, *Bombyx mori*', *Insects*, 11, pp. 1–14.
- Nascimento, I. N. do *et al.* 2018. 'Light-emitting Diodes (LED) as luminous lure for adult *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae)', *Journal of Experimental Agriculture International*, 25(4), pp. 1–8. doi: 10.9734/jeai/2018/43402.
- Odum, E. P. 1971 *Fundamentals of Ecology*. Third Edit. Philadelphia: W.B.Saunders Company.
(<https://www.detik.com/jabar/berita/d-6241039/ekologi-adalah-pengertian-konsep-ruang-lingkup-dan-manfaat>)
- (<https://www.kompas.com/skola/read/2021/04/16/163119269/ekologi-definisi-ruang-lingkup-asas-dan-manfaatnya?page=all>).

BAB 2

FAKTOR LINGKUNGAN ABIOTIK

Oleh Isna Arofatur Nikmah

2.1 Pendahuluan

Faktor abiotik adalah komponen ekosistem yang tidak hidup atau faktor fisik dan kimia dalam suatu lingkungan yang mempengaruhi dan berdampak pada kelangsungan hidup suatu organisme. Faktor-faktor ini berperan penting dalam membentuk karakteristik dan kondisi suatu ekosistem. Salah satu keuntungan mempelajari faktor abiotik adalah untuk memahami dinamika ekosistem dan memprediksi distribusi spesies (Lewis et al., 2017).

Memahami dinamika ekosistem. Faktor abiotik dapat berinteraksi satu sama lain atau berinteraksi dengan organisme, sehingga membentuk karakteristik dan fungsi ekosistem. Dengan mempelajari faktor abiotik, para peneliti dapat lebih memahami dinamika ekosistem dan bagaimana ekosistem merespons perubahan seiring berjalannya waktu. Kejadian eutrofikasi di Teluk Chesapeake adalah salah satu contoh pentingnya mempelajari faktor abiotik dalam suatu ekosistem. Teluk Chesapeake adalah muara terbesar di Amerika Serikat yang telah menghadapi tantangan lingkungan akibat polusi nutrisi selama beberapa dekade. Teluk ini adalah rumah bagi beragam organisme, seperti ikan, kerang, dan beberapa spesies tumbuhan air. Pada pertengahan tahun 1900-an, Teluk Chesapeake mengalami eutrofikasi, yaitu suatu fenomena dimana nutrisi yang berlebih, terutama nitrogen dan fosfor, masuk ke dalam ekosistem dan menyebabkan ledakan pertumbuhan alga. Ledakan populasi alga ini dapat menurunkan oksigen dalam air, sehingga menyebabkan zona mati yang berdampak buruk pada kehidupan akuatik di dalam air. Nitrogen dan fosfor yang mengalir ke Teluk Chesapeake berasal dari pupuk pertanian, limbah, dan pengendapan atmosfer. Para peneliti mempelajari faktor abiotik yang berkaitan dengan kualitas air, seperti tingkat nutrisi, suhu, salinitas, dan kandungan oksigen

terlarut. Faktor-faktor ini sangat penting untuk memahami eutrofikasi dan dampaknya terhadap ekosistem Teluk Chesapeake. Dengan mempelajari tingkat nutrisi (faktor abiotik) para ilmuwan menyimpulkan bahwa nitrogen dan fosfor yang berlebihan merupakan pendorong utama eutrofikasi. Pemahaman ini membantu pembuat kebijakan menargetkan sumber polusi nutrisi tertentu, seperti pupuk pertanian dan instalasi pengolahan air limbah, untuk upaya regulasi dan mitigasi yang lebih efektif. Studi tentang kadar oksigen terlarut mengungkap tingkat hipoksia (oksigen rendah) dan anoksia (tidak adanya oksigen) di Teluk Chesapeake, sehingga memungkinkan para peneliti menilai tingkat keparahan masalah dan dampaknya terhadap kehidupan akuatik. Mempelajari suhu dan salinitas air bertujuan untuk mengetahui pengaruh faktor abiotik tersebut terhadap distribusi dan perilaku beberapa spesies perairan. Memahami variasinya, akan membantu menjelaskan perubahan komposisi dan distribusi spesies. Pada akhirnya, dengan mengidentifikasi penyebab eutrofikasi dan memantau faktor-faktor abiotik utama, para peneliti dan pembuat kebijakan dapat menerapkan strategi yang ditargetkan untuk mengurangi pencemaran nutrisi, yang pada akhirnya mengarah pada pemulihan dan pelestarian ekosistem teluk ini (Kemp et al., 2005)



Gambar 2.1. Eutrofikasi di Teluk Chesapeake
(Sumber : Dr. Jennifer L. Graham - U.S. Geological Survey)

Memprediksi distribusi spesies. Spesies yang berbeda memiliki toleransi yang berbeda terhadap faktor abiotik. Memahami kisaran kondisi di mana suatu spesies dapat bertahan hidup dan berkembang biak, sangat penting untuk memprediksi distribusi dan kelimpahannya di berbagai ekosistem. Pengetahuan ini penting untuk upaya konservasi dan memahami bagaimana ekosistem dapat merespon perubahan iklim. Studi terhadap habitat Beruang Kutub dan perubahan iklim di Arktik adalah contoh yang dapat digunakan untuk menjelaskan pentingnya studi tentang faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap persebaran spesies. Beruang kutub (*Ursus maritimus*) adalah salah satu spesies paling ikonik di ekosistem Arktik, yang umumnya hidup di lautan es. Spesies ini mampu beradaptasi dengan lingkungan dingin dan es serta mengandalkan lautan es sebagai tempat berburu anjing laut yang merupakan mangsa utamanya. Namun, perubahan iklim telah mengubah pola lautan es, yang menyebabkan hilangnya habitat beruang kutub. Berkurangnya es di Arktik akibat kenaikan suhu dan perubahan kondisi iklim telah menjadi ancaman serius bagi

populasi beruang kutub. Ketika es menyusut di awal musim semi dan terbentuk di akhir musim gugur, beruang kutub memiliki lebih sedikit waktu untuk berburu anjing laut, sehingga meningkatkan stres dan menurunkan kondisi tubuh (Florko et al., 2020).



Gambar 2.2. Beruang kutub betina dewasa yang mati di lautan es
(Sumber : Derocher & Stirling, 1990)

Untuk memprediksi distribusi dan masa depan populasi beruang kutub, para peneliti telah mempelajari faktor abiotik lingkungan Arktik. Faktor-faktor tersebut antara lain luas lautan es, suhu, dan ketersediaan anjing laut sebagai sumber makanan yang dipengaruhi oleh faktor abiotik seperti arus laut dan suhu air. Untuk mengetahui adanya penurunan luasan lautan es, para peneliti menggunakan data dan model citra satelit untuk melacak perubahan lapisan es, sehingga memungkinkan untuk memprediksi wilayah mana yang sesuai untuk habitat beruang kutub. Mempelajari pola suhu dan model iklim juga membantu para peneliti memahami bagaimana kenaikan suhu berdampak pada dinamika lautan es dan ketersediaan habitat beruang kutub. Faktor abiotik seperti suhu air dan arus laut tersebut memengaruhi

distribusi dan kelimpahan anjing laut sebagai mangsa utama beruang kutub. Memahami faktor-faktor ini membantu memprediksi di mana beruang kutub akan menemukan makanannya. Hasil penelitian para ahli menunjukkan bahwa ketika es terbentuk di akhir musim gugur dan mencair di awal musim semi, beruang kutub diperkirakan akan berpindah ke daratan atau menempuh jarak yang lebih jauh untuk mencari makanan, sehingga meningkatkan konflik manusia-beruang. Selain itu, model prediktif berdasarkan faktor abiotik menunjukkan bahwa, tanpa upaya mitigasi yang signifikan, populasi beruang kutub berisiko menurun karena hilangnya habitat es. Prediksi ini telah mendorong upaya internasional untuk melindungi beruang kutub, termasuk konservasi habitat, pengurangan emisi untuk mengurangi perubahan iklim, dan pedoman perilaku manusia yang bertanggung jawab di habitat beruang kutub (Florko et al., 2020).

2.2 Jenis-jenis Faktor Abiotik

Faktor abiotik dapat mencakup berbagai unsur seperti suhu, cahaya, air, tanah, angin, salinitas, kadar oksigen, pH, ketinggian, topografi, dan geologi. Studi tentang faktor abiotik sangat penting dalam bidang ekologi dan ilmu lingkungan (Wingfield, 2013).

2.2.1 Suhu

Suhu dapat diartikan sebagai derajat panas atau dingin suatu lingkungan, yang dapat berfluktuasi seiring waktu dan mempengaruhi proses metabolisme dan kelangsungan hidup organisme. Suhu menjadi salah satu faktor lingkungan abiotik utama yang memainkan peran mendasar dalam membentuk distribusi dan perilaku organisme. Suhu dapat bervariasi sepanjang hari, malam, dan musim yang berbeda, dan hal ini berdampak langsung pada proses metabolisme, fisiologi, dan siklus hidup berbagai spesies. Organisme yang berbeda memiliki toleransi suhu dan adaptasi yang berbeda-beda yang memungkinkan mereka berkembang dalam rentang suhu tertentu (Chen et al., 2022).

Untuk mempertahankan lingkungan internal tubuh agar tetap stabil (homeostasis), tubuh manusia mengembangkan mekanisme seperti menggigil dan berkeringat yang muncul ketika tubuh terlalu dingin atau terlalu panas, sehingga menjaga suhu

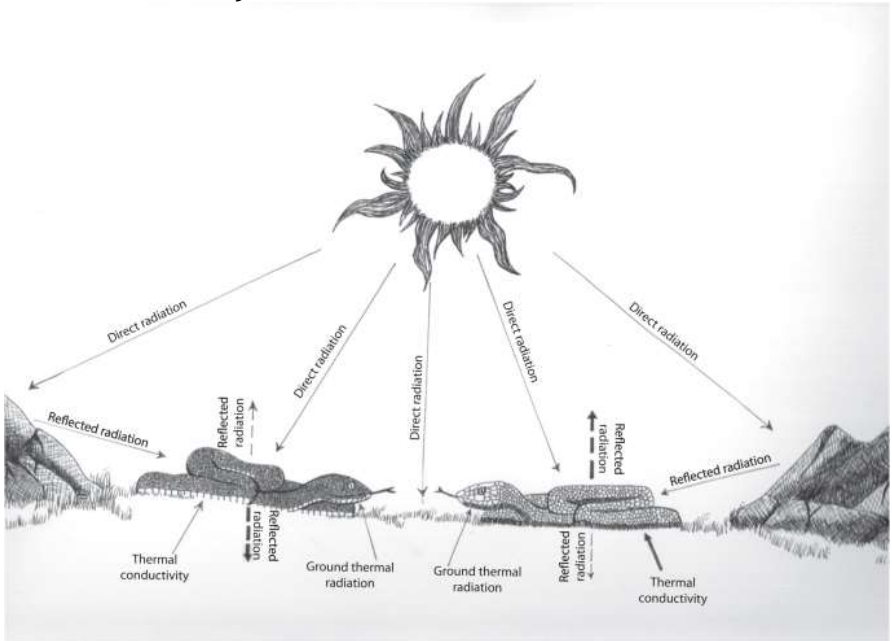
internal tubuh tetap stabil. Namun tidak semua organisme menjaga suhu tubuhnya dalam kisaran yang sempit seperti manusia. Sebaliknya, setiap hewan di planet ini harus mengatur suhu tubuhnya sampai tingkat tertentu untuk menjaga agar air di dalam selnya tidak berubah menjadi es atau untuk menghindari denaturasi enzim metabolisme oleh suhu tinggi atau panas tubuh. Secara garis besar, hewan dapat dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan cara mengatur suhu tubuh, yaitu hewan berdarah dingin (ektoterm) dan hewan berdarah panas (entoterm) (Sejian et al., 2018):

Hewan Berdarah Dingin (Ektotermik)

Spesies ektotermik adalah spesies yang bergantung pada sumber panas lingkungan eksternal untuk mengatur suhu tubuhnya. Proses metabolisme spesies ini terkait erat dengan suhu sekitar. Laju metabolisme organisme ektotermik dipengaruhi oleh suhu. Ketika suhu meningkat, proses metabolisme juga meningkat, menyebabkan peningkatan tingkat aktivitas dan pengeluaran energi. Sebaliknya pada suhu yang dingin, laju metabolisme spesies ini akan melambat sehingga mengurangi aktivitas dan pengeluaran energi.

Adaptasi perilaku adalah salah satu bentuk adaptasi yang sering dikembangkan oleh hewan ektotermik untuk merespon terhadap perubahan suhu lingkungan. Misalnya, hewan akan berjemur di bawah sinar matahari untuk menghangatkan diri atau mencari tempat berteduh untuk menenangkan diri ketika pagi hari, dan akan masuk ke liangnya ketika siang hari dimana matahari semakin terik. Suhu juga menjadi faktor penting bagi hewan ektotermik yang memengaruhi waktu reproduksinya. Suhu dapat memicu perilaku kawin, bertelur, dan menetas. Dalam beberapa kasus, kisaran suhu tertentu diperlukan agar berhasil bereproduksi. Selain itu, suhu juga mempengaruhi distribusi spesies ektotermik. Spesies ini akan lebih banyak ditemukan di daerah dengan suhu dalam kisaran toleransinya. Pemanasan global dan perubahan pola suhu dapat berdampak pada persebaran spesies-spesies ektotermik. Contoh organisme ektotermik antara lain reptil (ular, kadal, penyu, buaya), amfibi (katak, kodok, salamander), ikan (sebagian besar spesies ikan bersifat ektotermik), invertebrata

(Insekta, Arakhnida, Crustacea, Moluska), Echinodermata (Bintang laut dan bulu babi), dan Chelicerata.



Gambar 2.3. Mekanisme pertukaran panas pada spesies ektotermik (Sumber: Goldenberg et al., 2021)

Hewan Berdarah Panas (Endotermik)

Spesies endotermik memiliki kemampuan untuk mempertahankan suhu internal tubuh yang relatif konstan, terlepas dari fluktuasi suhu eksternal. Suhu berdampak pada spesies ini dengan berbagai cara:

Regulasi metabolik: Spesies endotermik memiliki kemampuan mengatur suhu internal tubuh melalui proses metabolisme. Spesies ini dapat menghasilkan panas secara internal dengan membakar energi saat cuaca dingin atau menghilangkan panas saat panas. Kemampuan ini memungkinkan mereka untuk mempertahankan suhu tubuh yang konstan dalam kisaran yang sempit, yang sering disebut sebagai “homeostatis”. (Oswald et al., 2011).

Pelepasan energi: untuk mempertahankan suhu tubuh yang stabil, spesies berdarah panas memerlukan pasokan energi yang

berkelanjutan. Spesies ini perlu mengonsumsi makanan untuk bahan bakar metabolisme dan menghasilkan panas. Dalam kondisi dingin, spesies endoterm memerlukan lebih banyak energi untuk tetap hangat (Oswald et al., 2011).

Tingkat aktivitas: tidak seperti spesies ektotermik, spesies endotermik dapat tetap aktif pada rentang suhu yang lebih luas. Spesies ini tidak terlalu bergantung pada sumber panas eksternal untuk beraktivitas dan dapat mencari makan. (Oswald et al., 2011).

Kelangsungan hidup di lingkungan yang bervariasi: hewan endoterm umumnya lebih mampu beradaptasi untuk bertahan hidup di rentang suhu lingkungan yang lebih luas, mulai dari daerah kutub yang dingin hingga gurun yang panas, karena kemampuannya mengatur suhu internal.

Contoh hewan endotermik antara lain burung, kelompok mamalia (termasuk mamalia laut seperti anjing laut dan singa laut), dan beberapa reptil seperti penyu belimbing dapat mempertahankan suhu tubuh lebih tinggi dibandingkan air di sekitarnya melalui kombinasi produksi panas metabolik dan perilaku (Oswald et al., 2011).

2.2.2 Cahaya Matahari

Cahaya merupakan faktor kunci lingkungan abiotik, dan ketersediaan, kualitas, dan kuantitasnya memainkan peran penting dalam membentuk karakteristik dan fungsi ekosistem. Peran utama cahaya sebagai faktor abiotik antara lain adalah untuk proses fotosintesis, produktivitas primer, siklus harian dan musiman, migrasi, pemilihan habitat, irama sirkadian, interaksi predator-mangsa, pengaturan suhu, zona ekosistem, keanekaragaman hayati dan adaptasi spesies (Valladares et al., 2016).

Jenis gelombang cahaya memiliki dampak yang signifikan terhadap tumbuhan, misalnya sinar UV. Sinar ultraviolet (UV) merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik dengan panjang gelombang lebih pendek dibandingkan cahaya tampak. Radiasi UV dapat menyebabkan kerusakan pada DNA tumbuhan. Tumbuhan telah mengembangkan mekanisme untuk memperbaiki kerusakan ini, termasuk aktivasi enzim perbaikan DNA. Banyak tanaman telah mengembangkan adaptasi fisik dan kimia untuk melindungi diri dari

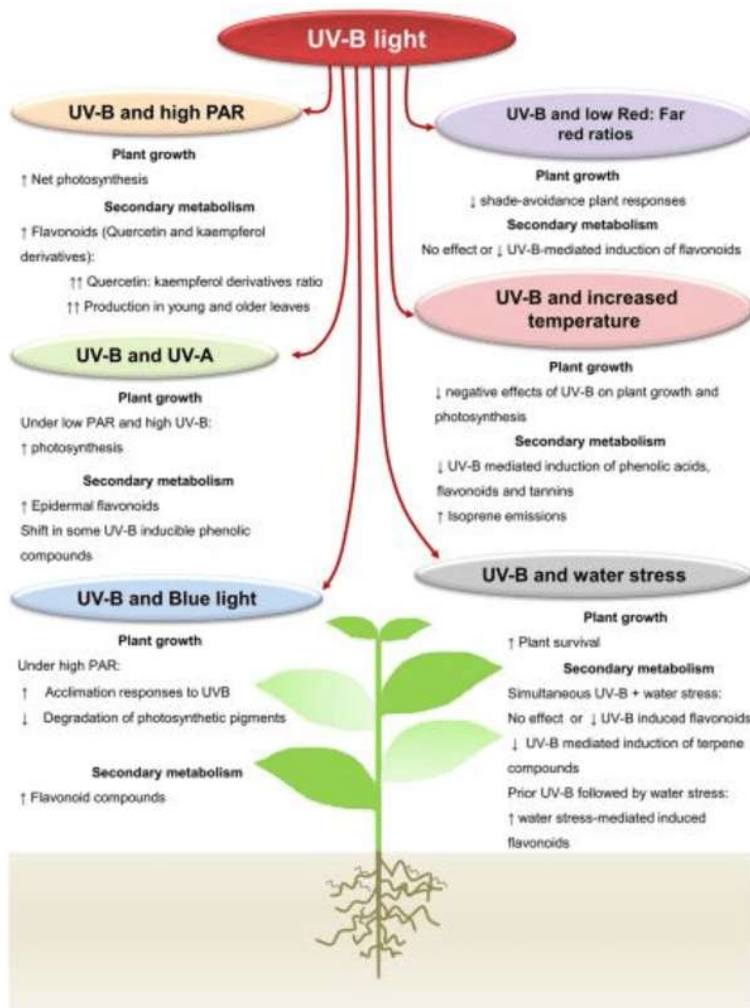
paparan sinar UV yang berlebihan. Adaptasi ini mencakup produksi senyawa penyerap sinar UV seperti flavonoid, yang bertindak sebagai tabir surya alami. Dalam beberapa kasus, senyawa tersebut juga dapat memiliki sifat antioksidan (Müller-Xing et al., 2014).

Beberapa tanaman juga menunjukkan adaptasi morfologi sebagai respons terhadap sinar UV. Misalnya, spesies tanaman tertentu di dataran tinggi atau lingkungan dengan paparan sinar UV yang tinggi akan memiliki daun yang lebih kecil atau kutikula yang lebih tebal untuk mengurangi penetrasi sinar UV. Warna bunga juga dapat dipengaruhi oleh sinar UV. Beberapa tanaman, terutama yang diserbuki oleh serangga yang dapat melihat dalam rentang sinar UV, telah berevolusi untuk menampilkan pola UV pada kelopaknya. Adaptasi ini dapat membuat bunga lebih menarik bagi penyerbuk (Müller-Xing et al., 2014).

Meskipun radiasi UV yang berlebihan dapat merusak jaringan tanaman, paparan sinar UV dalam jumlah sedang dapat merangsang proses biokimia tertentu, termasuk produksi metabolit sekunder. Beberapa dari metabolit ini dapat bermanfaat untuk pertahanan tanaman terhadap herbivora dan patogen. Paparan sinar UV dapat meningkatkan produksi senyawa fenolik pada tanaman. Senyawa tersebut dapat memiliki sifat antioksidan dan berperan dalam melindungi sel tumbuhan dari stres oksidatif akibat sinar UV (Müller-Xing et al., 2014).

Sinar UV juga dapat memengaruhi ritme sirkadian tanaman, memengaruhi proses fisiologisnya termasuk pertumbuhan, pembungaan, dan penyerapan nutrisi. Sinar UV dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman dengan mempengaruhi kadar hormon. Misalnya, paparan sinar UV dapat mengubah keseimbangan auksin dan sitokinin, yang merupakan hormon pertumbuhan tanaman yang penting (Müller-Xing et al., 2014).

Sebagai respons terhadap radiasi UV, tanaman dapat mengaktifkan berbagai mekanisme pertahanan, seperti sintesis protein terkait patogenesis (PR), yang dapat membantu melindungi tanaman dari pemicu stres biotik seperti patogen (Müller-Xing et al., 2014).



Gambar 2.4. Pengaruh sinar UV pada tumbuhan
(Sumber : Escobar-Bravo et al, 2017)

2.2.3 Air

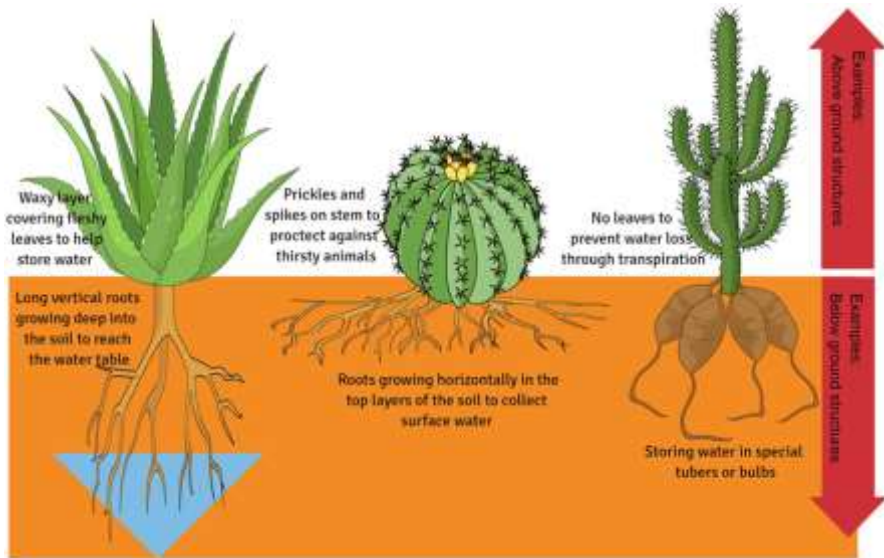
Ketersediaan dan kualitas air penting bagi kehidupan dan dapat mempengaruhi distribusi dan perilaku organisme. Salah satu contoh pentingnya air sebagai faktor abiotik dalam ekosistem adalah dampak ketersediaan air terhadap ekosistem gurun.

Ekosistem gurun dicirikan oleh kondisi gersang dan kering dengan ketersediaan air yang terbatas. Tumbuhan gurun telah

mengembangkan banyak adaptasi untuk mengatasi keterbatasan sumber daya air. Beberapa tumbuhan menyimpan air di batang dan daunnya (sukulen), sementara tanaman lainnya memiliki sistem akar yang dalam untuk memanfaatkan air tanah. Kaktus merupakan tumbuhan gurun terkenal yang menyimpan air di jaringannya dan telah memodifikasi daunnya untuk mengurangi kehilangan air melalui transpirasi (Xu et al., 2016).

Hewan gurun juga telah mengembangkan berbagai strategi untuk bertahan hidup di lingkungan yang kekurangan air. Perilaku nokturnal adalah hal yang umum di antara banyak hewan gurun untuk menghindari panas yang ekstrim di siang hari. Hewan ini juga dapat memperoleh air dari makanannya, misalnya dengan memakan tanaman sukulen atau mangsa yang kandungan airnya tinggi. Ketersediaan air juga sering kali memicu peristiwa reproduksi pada spesies gurun. Beberapa tanaman gurun mungkin hanya berbunga dan menghasilkan biji setelah hujan turun, sementara hewan gurun tertentu mengatur waktu berkembang biaknya bertepatan dengan ketersediaan air, sehingga memastikan bahwa keturunannya memiliki peluang lebih baik untuk bertahan hidup (Xu et al., 2016).

Meskipun melakukan adaptasi, beberapa organisme gurun sangat bergantung pada sumber air secara berkala. Oasis gurun, tempat air tersedia secara alami, sangat penting bagi kelangsungan hidup banyak spesies, termasuk mamalia, burung, dan serangga yang beradaptasi di gurun. Aktivitas manusia, seperti pengambilan air tanah dan pembangunan perkotaan, dapat berdampak signifikan terhadap ketersediaan air di ekosistem gurun. Pengambilan air tanah yang berlebihan dapat menyebabkan pengeringan oasis dan berdampak negatif terhadap flora dan fauna yang bergantung pada oasis tersebut (Xu et al., 2016).



Gambar 2.5. Adaptasi tumbuhan gurun pada lingkungan kering
(Sumber : van der Vyver & Peters, 2017)

2.2.4 Tanah

Sifat fisik dan kimia tanah, seperti pH, tekstur, dan kandungan nutrisi, mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan komposisi ekosistem secara keseluruhan. Perilaku, fungsi, dan kesesuaiannya berguna untuk menentukan berbagai penggunaan, diantaranya pertanian, konstruksi, dan kesehatan ekosistem. Beberapa sifat utama tanah meliputi (Chen et al., 2022):

Tekstur: Tekstur tanah mengacu pada proporsi partikel pasir, lanau, dan lempung di dalam tanah. Tekstur tanah memainkan peran penting dalam menentukan kapasitas tanah menahan air, drainase, aerasi, dan retensi nutrisi. Tanah dapat diklasifikasikan menjadi berpasir, liat, atau liat berdasarkan teksturnya.

pH (Keasaman atau Alkalinitas): pH tanah adalah tingkat keasaman atau kebasaan dalam tanah. pH tanah penting untuk ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Sebagian besar tanaman lebih menyukai tanah yang sedikit asam hingga netral (pH 6-7), namun beberapa memiliki persyaratan pH tertentu.

Kandungan Bahan Organik: Bahan organik dalam tanah terdiri dari bahan tumbuhan dan hewan yang membusuk. Bahan

organik dapat memperbaiki struktur tanah, retensi air, ketersediaan nutrisi, dan aktivitas mikroba. Kandungan bahan organik yang tinggi bermanfaat bagi kesehatan tanah.

Kandungan Nutrisi: Kandungan nutrisi tanah mencakup unsur-unsur penting seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, serta unsur hara mikro. Unsur hara ini penting bagi pertumbuhan tanaman, dan ketersediaannya dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah.

Kapasitas Tukar Kation (KTK): KTK adalah kemampuan tanah untuk menahan dan menukar kation (ion bermuatan positif), seperti kalsium, magnesium, dan kalium. Tanah dengan KTK lebih tinggi dapat mempertahankan lebih banyak unsur hara sehingga lebih subur.

Struktur Tanah: Struktur tanah mengacu pada susunan partikel tanah menjadi agregat atau rumpun. Struktur tanah yang baik memungkinkan aerasi, penetrasi akar, dan infiltrasi air yang lebih baik. Struktur yang buruk dapat menyebabkan pemadatan dan berkurangnya pergerakan air.

Kadar Air: Kadar air tanah adalah jumlah air yang ada pada waktu tertentu. Kadar air tanah mempengaruhi ketersediaan air bagi tanaman, stabilitas tanah, dan berbagai proses kimia di dalam tanah.

Permeabilitas dan Porositas: Sifat-sifat ini menggambarkan kemampuan air dan udara untuk dapat bergerak melalui tanah. Permeabilitas dan porositas mempengaruhi drainase, aerasi tanah, dan pergerakan kontaminan di dalam tanah.

Pemadatan: Pemadatan tanah terjadi ketika partikel-partikel tanah saling menempel sehingga mengurangi ruang pori dan menghambat pergerakan air serta pertumbuhan akar. Pemadatan tanah dapat berdampak negatif terhadap kesehatan tanaman dan drainase.

Warna Tanah: Warna tanah dapat menunjukkan kandungan mineral, kadar bahan organik, dan sifat drainasenya. Tanah yang berwarna gelap seringkali memiliki kandungan bahan organik yang lebih tinggi, sedangkan tanah yang berwarna kemerahan atau kekuningan dapat menunjukkan adanya zat besi atau mineral lainnya.

Salinitas dan Sodisitas: Salinitas tanah mengacu pada konsentrasi garam di dalam tanah, yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Sodisitas adalah suatu kondisi dimana kadar natrium meningkat sehingga menyebabkan masalah struktur tanah.

2.2.5 Angin

Angin mempunyai dampak yang signifikan terhadap berbagai proses alam, termasuk penyebaran biji, migrasi burung, dan penguapan:

1. Penyebaran Biji

- a. Penyebaran Biji Secara Pasif: Angin adalah agen kunci dalam penyebaran biji secara pasif. Beberapa tumbuhan mengembangkan adaptasi untuk menyebarkan bijinya melalui udara. Tumbuhan ini menghasilkan biji yang ringan dengan struktur yang dapat menangkap angin, seperti adanya trikoma (misalnya biji dandelion) atau struktur bersayap (misalnya biji *maple*). Ketika angin membawa biji-biji ini menjauh dari tanaman induknya, maka proses ini membantu menyebarkan spesies tersebut ke wilayah yang lebih luas, sehingga mengurangi persaingan di antara individu-individu yang berkerabat dekat (Zhu et al., 2022).
- b. Penyebaran Jarak Jauh: Angin dapat membawa biji dalam jarak jauh untuk membantu tanaman menempati area baru. Mekanisme ini penting untuk kelangsungan hidup spesies dan adaptasi terhadap perubahan lingkungan. Tumbuhan yang mengembangkan mekanisme ini disebut sebagai tumbuhan anemochorous, yaitu tumbuhan yang bergantung pada penyebaran angin sebagai alat utama atau satu-satunya alat penyebaran biji (Zhu et al., 2022).
- c. Penyebaran Lokal: Angin juga dapat menyebarkan biji dalam jarak yang lebih pendek di sekitar tanaman induk. Mekanisme ini dapat membantu kolonisasi ruang terbuka dan relung di dekatnya (Zhu et al., 2022).

2. Pergerakan Burung

Burung memanfaatkan angin untuk terbang. Salah satu contohnya adalah dinamika meluncur, yaitu strategi terbang yang digunakan oleh beberapa burung laut, seperti elang laut. Burung ini menggunakan gradien angin di dekat permukaan laut untuk memperoleh energi dengan cara naik dan turun secara berulang-ulang. Cara ini memungkinkan burung untuk terbang jarak jauh dengan sedikit usaha. Selain itu, beberapa burung, seperti burung pemangsa, menggunakan aliran udara panas yang dihasilkan oleh panas matahari terhadap tanah untuk mencapai ketinggian tanpa mengeluarkan banyak energi. Aktivitas ini sangat bergantung pada pola angin dan gradien suhu (Weinzierl et al., 2016).

Pola angin juga berperan dalam migrasi burung. Burung sering kali mengandalkan angin untuk migrasi lebih cepat dan dapat menyesuaikan rute serta waktu penerbangannya berdasarkan kondisi angin. Sebaliknya, angin sakal dapat memperlambat migrasi burung (Weinzierl et al., 2016).

3. Penguapan

Angin mempengaruhi laju penguapan dari badan air, seperti danau, sungai, dan lautan, dengan meningkatkan laju pencampuran udara-air. Angin kencang dapat meningkatkan laju penguapan dengan membawa udara yang mengandung uap air dari permukaan dan menggantinya dengan udara yang lebih kering. Oleh karenanya angin termasuk faktor kunci dalam siklus air.

Pada ekosistem darat, angin juga dapat mempengaruhi transpirasi tumbuhan, yaitu keluarnya uap air dari daun tumbuhan. Angin dapat mempercepat transpirasi dengan mendorong pergerakan air melalui tumbuhan dan pertukaran uap air ke atmosfer. Proses ini sangat penting terutama di daerah kering, dimana tumbuhan perlu menghemat air. Sementara itu pada tanah, angin dapat menimbulkan efek pengeringan pada tanah dan tumbuh-tumbuhan. Proses ini dapat meningkatkan laju hilangnya kelembapan dari tanah dan dapat menyebabkan

pengeringan jaringan tanaman, yang terutama terjadi di iklim berangin dan kering (Manickathan et al., 2018).

2.2.2 Salinitas

Salinitas, sebagai faktor abiotik, mengacu pada konsentrasi garam terlarut, terutama natrium klorida (NaCl), dalam lingkungan tertentu. Salinitas biasanya dinyatakan dalam *parts per thousand* (ppt) atau *practical salinity units* (PSU).

Salinitas berperan penting dalam berbagai ekosistem dan lingkungan, khususnya ekosistem perairan seperti samudra, laut, sungai, dan danau, serta tanah dan air tanah. Salinitas dapat berdampak besar pada sifat fisik, kimia, dan biologis lingkungan tersebut. Misalnya, tingkat salinitas yang tinggi dapat mempengaruhi persebaran spesies perairan, pertumbuhan tanaman, dan kualitas air untuk berbagai kegunaan, sedangkan tingkat salinitas yang rendah juga dapat mempengaruhi perilaku dan komposisi organisme dan ekosistem (Jardine et al., 2012).

Ekosistem muara adalah contoh yang sering digunakan untuk menggambarkan pentingnya faktor salinitas. Muara adalah ekosistem yang unik dimana sungai atau aliran air tawar bertemu dan bercampur dengan air laut. Muara dicirikan oleh gradien salinitas, mulai dari air tawar di bagian hulu hingga salinitas laut penuh di bagian bawah. Gradien ini menciptakan serangkaian relung ekologi, yang memungkinkan beragam komunitas spesies menghuni ekosistem muara. Organisme yang berbeda beradaptasi untuk berkembang pada tingkat salinitas tertentu, sehingga menghasilkan keanekaragaman hayati yang kaya baik spesies akuatik maupun darat. Pencampuran air tawar dan air asin ini juga menciptakan kondisi ideal untuk perkembangan ikan dan organisme lainnya. Ketersediaan tingkat salinitas yang sesuai di muara sangat penting untuk tahap awal kehidupan banyak spesies yang penting secara komersial dan ekologis (Octavia et al., 2022).

Ketersediaan zona salinitas yang berbeda di muara dapat berdampak pada pola makan dan migrasi berbagai spesies. Beberapa spesies, seperti burung pantai dan unggas air, bergantung pada sumber makanan yang ditemukan di muara selama migrasi, sehingga perubahan salinitas dapat mempengaruhi kelimpahan dan distribusi spesies mangsa tersebut (Octavia et al., 2022).

2.2.6 Kadar Oksigen

Oksigen merupakan salah satu faktor abiotik penting dalam lingkungan terestrial dan akuatik. Seperti hewan darat, organisme akuatik, termasuk ikan, invertebrata, dan mikroorganisme, memerlukan oksigen untuk respirasi. Organisme ini mengambil oksigen terlarut dari air untuk melakukan proses metabolisme dan menghasilkan energi. Oksigen yang tidak mencukupi dapat menyebabkan mati lemas dan membahayakan atau membunuh organisme akuatik (Arnott & Vanni, 1993).

Di dalam lingkungan akuatik, oksigen juga bertindak dalam penguraian bahan organik, misalnya tumbuhan dan hewan yang mati. Proses ini merupakan proses ekologi yang penting dalam ekosistem perairan. Oksigen diperlukan untuk aktivitas pengurai, seperti bakteri dan jamur untuk menguraikan bahan organik dan mendaur ulang nutrisi. Pada kondisi tanpa adanya oksigen (anaerobik), dekomposisi dapat menghasilkan produk sampingan yang berbahaya seperti metana dan hidrogen sulfida (Buda et al., 2022).

Kadar oksigen yang cukup di ekosistem perairan juga membantu menjaga kualitas air yang baik. Oksigen berkontribusi terhadap oksidasi polutan, seperti amonia dan sampah organik, menjadikan air lebih aman bagi kehidupan akuatik dan penggunaan manusia (Buda et al., 2022).

Beberapa mikroorganisme bermanfaat di ekosistem perairan membutuhkan oksigen untuk berkembang. Mikroorganisme ini memainkan peran penting dalam siklus nutrisi dan pemurnian air. Misalnya, bakteri nitrifikasi membutuhkan oksigen untuk mengubah amonia menjadi nitrit dan nitrat, sehingga berkontribusi pada siklus nitrogen. Fitoplankton dan tumbuhan air, yang menjadi dasar jaring makanan, membutuhkan oksigen untuk fotosintesis. Tingkat oksigen yang cukup mendukung pertumbuhan produsen primer ini, yang pada gilirannya menyediakan makanan bagi herbivora dan tingkat trofik yang lebih tinggi. Beberapa organisme seperti spesies ikan juga memiliki kebutuhan oksigen spesifik dan hanya mentolerir kisaran konsentrasi oksigen tertentu. Kondisi yang miskin oksigen dapat menyebabkan hilangnya habitat

dan berdampak negatif terhadap populasi ikan (Bellucci et al., 2011).

2.2.7 Ketinggian Tempat

Ketinggian tempat berpengaruh terhadap tekanan udara dan suhu atmosfer bumi. Ketinggian tempat memiliki hubungan terbalik dengan tekanan atmosfer. Semakin tinggi suatu daerah, tekanan atmosfer akan menurun. Untuk mengukur penurunan tekanan seiring ketinggian, ahli meteorologi menggunakan barometer. Standar tekanan atmosfer di permukaan laut adalah sekitar 101,3 kilopascal (kPa) atau 1013 milibar (mb). Namun, pada ketinggian sekitar 5,6 kilometer (3,5 mil), tekanan atmosfer biasanya berkurang setengahnya, dan pada ketinggian 18 kilometer (11 mil), tekanan tersebut hanya sekitar 10% dari tekanan di permukaan laut. Penurunan tekanan udara di tempat yang lebih tinggi mengakibatkan tekanan parsial oksigen yang lebih rendah. Hal ini dapat menyebabkan hipoksia, suatu kondisi di mana tubuh menerima oksigen yang tidak mencukupi, terutama pada individu yang tidak dapat menyesuaikan diri dengan iklim (Panel, 1952).

Selain berpengaruh terhadap tekanan atmosfer, ketinggian tempat juga berpengaruh terhadap suhu. Suhu juga dapat berubah seiring ketinggian, yang dikenal dengan istilah **lapse rate**. Tingkat penurunan standar atau normal adalah penurunan sekitar 6,5°C (11,7°F) per 1.000 meter (3.280 kaki) ketinggian. Pada lapisan atmosfer paling bawah (troposfer) yang merupakan tempat terjadinya cuaca, suhu biasanya menurun seiring bertambahnya ketinggian, sehingga menciptakan profil suhu vertikal yang stabil. Hal ini yang menyebabkan puncak gunung cenderung lebih dingin dibandingkan daerah dataran rendah. Di atas troposfer, yaitu di stratosfer, suhu meningkat seiring ketinggian karena adanya lapisan ozon. Hal ini yang menyebabkan stratopause (batas antara troposfer dan stratosfer) memiliki suhu lebih tinggi dibandingkan lapisan di sekitarnya (Kuo et al., 2003).

Variasi suhu terhadap ketinggian mempunyai dampak signifikan terhadap iklim. Daerah dataran tinggi akan cenderung lebih sejuk. Misalnya adalah daerah pegunungan. Daerah pegunungan mempunyai iklim yang bervariasi berdasarkan

ketinggiannya. Namun dalam beberapa situasi, suhu dapat meningkat seiring ketinggian, sehingga menyebabkan **inversi suhu**. Inversi suhu dapat memerangkap polutan di dekat permukaan dan mempengaruhi kualitas udara (Whiteman et al., 2004).

2.2.8 pH

Tingkat pH air dan tanah mempunyai dampak signifikan terhadap organisme di lingkungan tersebut. pH dapat mempengaruhi ketersediaan nutrisi penting, toksisitas zat tertentu, dan kesehatan serta keanekaragaman ekosistem.

Dampak pH pada Organisme Akuatik

Ekosistem perairan mencakup beragam organisme, mulai dari mikroorganisme, ikan dan tumbuhan air. pH air dapat mempengaruhi kelarutan dan ketersediaan nutrisi penting, khususnya fosfor dan nitrogen.

Dalam kondisi asam (pH rendah), nutrisi ini menjadi lebih sedikit tersedia sehingga dapat membatasi pertumbuhan tanaman air dan fitoplankton yang berperan sebagai produsen di lingkungan akuatik. pH rendah (kondisi asam) juga dapat meningkatkan kelarutan dan toksisitas logam berat seperti aluminium, kadmium, dan timbal, sehingga dapat membahayakan organisme perairan, terutama ikan dan invertebrata. pH rendah juga dapat mempengaruhi penyerapan kalsium oleh organisme akuatik. Beberapa organisme seperti moluska dan krustasea, mengandalkan kalsium untuk membentuk cangkang dan kerangka luar. Air yang asam dapat mengurangi ketersediaan kalsium sehingga menyulitkan organisme tersebut untuk tumbuh dan berkembang (Jardine et al., 2012).

Beberapa organisme juga membutuhkan pH spesifik, seperti pada beberapa spesies ikan dan amfibi. Amfibi seperti katak dan salamander sangat sensitif terhadap perubahan pH. Air dengan pH rendah dapat merusak telur dan menghambat perkembangan larva. Beberapa kelompok mikroorganisme juga sensitif terhadap perubahan pH. Misalnya dari kelompok bakteri denitrifikasi yang membantu mengubah nitrat menjadi gas nitrogen (Arnott & Vanni, 1993).

Dampak pH terhadap Organisme Terrestrial

pH tanah dapat mempengaruhi komunitas mikroba di rhizosfer (tanah di sekitar akar tanaman). Beberapa mikroorganisme tanah peka terhadap pH dan memiliki kondisi pertumbuhan optimal dalam rentang pH tertentu. Misalnya, jamur mikoriza, yang membentuk hubungan simbiosis dengan tanaman, dapat memiliki preferensi pH yang memengaruhi pertumbuhan tanaman dan penyerapan unsur hara (Jamiołkowska et al., 2018).

pH juga dapat berdampak langsung pada tumbuhan. Di tanah masam, unsur-unsur tertentu seperti aluminium dan mangan menjadi lebih mudah larut dan dapat menjadi racun bagi tumbuhan. Di sisi lain, pada tanah alkalin, unsur hara penting seperti zat besi, fosfor, dan seng akan cenderung sedikit konsentrasinya (W. & J., 1984).

Setiap spesies tumbuhan, memiliki preferensi pH yang berbeda-beda. Misalnya, beberapa tumbuhan akan tumbuh subur di tanah masam (misalnya *blueberry*), sementara yang lain akan lebih menyukai tanah basa (misalnya lavender) (Apse & Karklins, 2014). pH tanah dapat mempengaruhi agregasi dan stabilitas partikel tanah. Pada tanah masam, keracunan aluminium dapat mengurangi perkembangan akar sehingga mempengaruhi struktur tanah. Pada tanah alkalin, kelebihan kalsium dapat memperbaiki struktur tanah namun dapat mengakibatkan ketersediaan unsur hara yang buruk. Selain adanya unsur-unsur logam seperti besi dan aluminium, hujan asam yang diakibatkan oleh polusi udara juga dapat menurunkan pH tanah (Hu et al., 2019).

2.2.9 Topografi dan Geologi

Topografi dan geologi merupakan faktor fundamental yang secara signifikan mempengaruhi ekosistem, membentuk struktur, fungsi, dan keanekaragamannya.

Topografi

Ketinggian adalah fitur topografi utama yang mempengaruhi suhu, curah hujan, dan tekanan atmosfer, yang semuanya mempengaruhi jenis tumbuhan dan hewan yang dapat bertahan hidup dalam suatu ekosistem. Daerah yang lebih tinggi umumnya

memiliki suhu yang lebih dingin, sedangkan daerah yang lebih rendah memiliki suhu yang lebih hangat (Johansson & Chen, 2003). Kecuraman (kemiringan) dapat berdampak pada iklim. Lereng yang menghadap ke selatan di Belahan Bumi Utara menerima lebih banyak sinar matahari, sehingga memengaruhi suhu dan vegetasi. Kemiringan juga mempengaruhi limpasan air dan erosi, sehingga mempengaruhi karakteristik tanah dan distribusi tumbuhan (Wilcox & Wood, 1988). Topografi juga dapat menentukan aliran air, yang mengarah pada terciptanya sungai, aliran sungai, dan danau. Pola badan air tersebut mempengaruhi ketersediaan air tawar bagi ekosistem perairan dan dapat menciptakan habitat yang unik (Carlson Mazur et al., 2022).

Topografi juga dapat memengaruhi pola angin. Perbukitan, pegunungan, dan lembah dapat menyalurkan dan mengarahkan angin, sehingga berdampak pada suhu, kelembapan, dan sebaran vegetasi. Fitur topografi seperti pulau atau puncak gunung yang terisolasi dapat menciptakan ekosistem yang unik. Habitat yang terisolasi ini seringkali mempunyai spesies yang berbeda, karena terpisah dari daratan atau wilayah sekitarnya (Johansson & Chen, 2003).

Geologi

Jenis batuan dan tanah di suatu area sangat memengaruhi komposisi, tekstur, dan kesuburan tanah. Batuan dan tanah yang berbeda memiliki komposisi kimia dan mineral yang berbeda-beda, yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan ketersediaan unsur hara. Misalnya, tanah berbatu kapur cenderung bersifat basa dan mendukung spesies tanaman tertentu, sedangkan tanah berbatu granit dapat bersifat asam. Keberadaan mineral pada batuan dan tanah dapat mempengaruhi komposisi kimia ekosistem. Misalnya, daerah yang kaya akan zat besi dapat memiliki pola vegetasi yang berbeda, dan pelapukan mineral dapat menambah unsur hara penting bagi tanah (Dincă et al., 2022).

Fitur geologi seperti ngarai, gua, dan formasi batuan menciptakan habitat unik. Misalnya gua, akan mendukung ekosistem khusus yang beradaptasi dengan cahaya rendah dan suhu

konstan. Formasi geologi dapat menyimpan dan mengangkut air tanah. Mata air dan akuifer memainkan peran penting dalam menyediakan air tawar bagi ekosistem. Kondisi ini sering kali mendukung flora dan fauna unik yang beradaptasi dengan sumber air (Wang et al., 2015).

Peristiwa geologi seperti aktivitas vulkanik, sering kali memiliki tanah yang kaya nutrisi karena pengendapan abu vulkanik. Wilayah ini akan mendukung komunitas tumbuhan yang berbeda. Peristiwa geologi lain seperti gempa bumi dan letusan gunung berapi dapat mengubah bentang alam dan menciptakan peluang suksesi ekologi. Beberapa spesies umumnya tumbuh subur di lingkungan pasca gangguan. Sejarah geologi suatu wilayah, termasuk gempa bumi, glasiasi, pengangkatan atau penurunan permukaan tanah di masa lalu, dapat membentuk komposisi ekosistem saat ini. Misalnya suatu wilayah dengan sejarah glasial dapat memiliki bentang alam dan endapan sedimen yang berbeda (Longman et al., 2021).

2.2.10 Bencana Alam

Bencana alam seperti gempa bumi, letusan gunung berapi, angin topan, banjir, kebakaran hutan, dan tsunami, berperan penting sebagai faktor abiotik dalam membentuk ekosistem dan lingkungan. Peristiwa bencana ini mempunyai dampak besar terhadap lanskap, iklim, dan distribusi spesies. Berikut pengaruh bencana alam terhadap ekosistem:

1. Perubahan Bentang Alam:

- a. Letusan Gunung Berapi: Letusan gunung berapi dapat melepaskan abu dan lava, yang dapat mengubur dan membentuk kembali seluruh bentang alam. Peristiwa ini menciptakan bentang alam baru dan menyumbangkan mineral ke dalam tanah, sehingga memengaruhi jenis tanaman dan ekosistem yang dapat tumbuh subur setelahnya (Cardenas et al., 2013).
- b. Gempa bumi: Gempa bumi dapat menyebabkan pengangkatan atau penurunan permukaan tanah, sehingga menyebabkan perubahan permukaan air, drainase tanah, dan komposisi ekosistem. Di wilayah

pesisir, gempa bumi dapat memicu tsunami yang menggenangi ekosistem darat dengan air asin dan sedimen (Francis et al., 2020).

- c. Banjir: Banjir dapat menyebabkan erosi dan pengendapan sedimen. Perubahan ini dapat mengubah dasar sungai dan lahan basah, menciptakan habitat baru dan mempengaruhi distribusi spesies tumbuhan dan hewan. Banjir juga dapat membawa nutrisi ke ekosistem (Mori et al., 2010).
 - d. Kebakaran hutan: Kebakaran hutan dapat menyebabkan rusaknya vegetasi, sehingga mengakibatkan perubahan komposisi spesies dan karakteristik tanah. Beberapa ekosistem, seperti chaparral, beradaptasi terhadap kebakaran rutin dan bergantung pada kebakaran tersebut untuk peremajaan (Lavoie & Sirois, 1998).
2. Gangguan Ekosistem:
- a. Perusakan Habitat: Bencana alam dapat secara langsung merusak habitat dan menggusur atau membahayakan organisme. Organisme akan dapat mengalami kesulitan untuk bertahan hidup atau beradaptasi terhadap perubahan lingkungan yang tiba-tiba ini.
 - b. Spesies Introduksi: Setelah bencana alam, masuknya spesies non-asli dapat mengganggu ekosistem asli. Banjir, misalnya, dapat memindahkan spesies invasif ke wilayah baru, sehingga menimbulkan persaingan atau pemangsaan terhadap spesies asli (Belnap et al., 2012).
 - c. Suksesi: Beberapa bencana alam, seperti kebakaran hutan, memicu suksesi ekologi, yaitu spesies baru secara bertahap menggantikan spesies yang hilang. Seiring berjalannya waktu, proses ini dapat menghasilkan ekosistem yang lebih beragam dan tangguh (McCullough et al., 1998).
3. Dampak Iklim:
- a. Letusan Gunung Berapi: Letusan gunung berapi melepaskan aerosol ke stratosfer, yang dapat menyebabkan pendinginan iklim bumi dalam jangka

pendek. Hal ini dapat mempengaruhi ekosistem dengan mengubah pola suhu dan curah hujan (Robock, 2000).

- b. Badai dan Topan: Badai dapat menimbulkan dampak jangka panjang terhadap iklim dan pola cuaca regional. Badai dapat mengubah distribusi curah hujan, sehingga menyebabkan kekeringan atau hujan lebat di wilayah tertentu (Davis et al., 2021).

DAFTAR PUSTAKA

- Apse, J., & Karklins, A. 2014. Modification of Soil Properties for Blueberry (*Vaccinium Corymbosum* L.) Cultivation. *Rural Sustainability Research*, 30(1), 1–10. <https://doi.org/doi:10.2478/plua-2013-0009>
- Arnott, S. E., & Vanni, M. J. 1993. Zooplankton Assemblages in Fishless Bog Lakes: Influence of Biotic and Abiotic Factors. *Ecology*, 74(8), 2361–2380. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/1939588>
- Bellucci, M., Ofiteru, I. D., Graham, D. W., Head, I. M., & Curtis, T. P. 2011. Low-dissolved-oxygen nitrifying systems exploit ammonia-oxidizing bacteria with unusually high yields. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(21), 7787–7796. <https://doi.org/10.1128/AEM.00330-11>
- Belnap, J. y. e., Ludwig, J. A., Wilcox, B. P., Betancourt, J. L., Dean, W. R. J., Hoffmann, B. D., & Milton, S. J. 2012. Introduced and Invasive Species in Novel Rangeland Ecosystems: Friends or Foes? *Rangeland Ecology & Management*, 65(6), 569–578. <https://doi.org/https://doi.org/10.2111/REM-D-11-00157.1>
- Buda, J., Poniecka, E. A., Rozwalak, P., Ambrosini, R., Bagshaw, E. A., Franzetti, A., Klimaszyk, P., Nawrot, A., Pietryka, M., Richter, D., & Zawierucha, K. 2022. Is Oxygenation Related to the Decomposition of Organic Matter in Cryoconite Holes? *Ecosystems*, 25(7), 1510–1521. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00729-2>
- Cardenas, L. M., Hatch, D. J., Scholefield, D., Jhurreea, D., Clark, I. M., Hirsch, P. R., Salazar, F., Rao-Ravella, S., & Alfaro, M. 2013. Potential mineralization and nitrification in volcanic grassland soils in Chile. *Soil Science and Plant Nutrition*, 59(3), 380–391. <https://doi.org/10.1080/00380768.2013.789395>
- Carlson Mazur, M. L., Smith, B., Bird, B., McMillan, S., Pyron, M., & Hauswald, C. 2022. Hydrologic connectivity and land cover affect floodplain lake water quality, fish abundance, and fish diversity in floodplain lakes of the Wabash-White River

- basin. *River Research and Applications*, 38(1), 160–172.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/rra.3888>
- Chen, X., Zhou, Z., He, Q., Zhang, H., Bouma, T., Gong, Z., Townend, I., & Zhang, C. 2022. Role of abiotic drivers on crab burrow distribution in a saltmarsh wetland. *Frontiers in Marine Science*, 9(November), 1–16.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1040308>
- Davis, C. R., Cannon, S. R., & Fuller, S. C. 2021. The storm after the storm: the long-term lingering impacts of hurricanes on schools. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 30(3), 264–278.
<https://doi.org/10.1108/DPM-03-2020-0055>
- Derocher, A. E., & Stirling, I. 1990. Distribution of polar bears (*Ursus maritimus*) during the ice-free period in western Hudson Bay. *Canadian Journal of Zoology*, 68(7), 1395–1403.
<https://doi.org/10.1139/z90-208>
- Dincă, L. C., Grenni, P., Onet, C., & Onet, A. 2022. Fertilization and Soil Microbial Community: A Review. In *Applied Sciences* (Vol. 12, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/app12031198>
- Escobar-Bravo, R., Klinkhamer, P. G. L., & Leiss, K. A. 2017. Interactive effects of UV-B light with abiotic factors on plant growth and chemistry, and their consequences for defense against arthropod herbivores. *Frontiers in Plant Science*, 8(March), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00278>
- Florko, K. R. N., Derocher, A. E., Breiter, C. J. C., Ghazal, M., Hedman, D., Higdon, J. W., Richardson, E. S., Sahanatien, V., Trim, V., & Petersen, S. D. 2020. Polar bear denning distribution in the Canadian Arctic. *Polar Biology*, 43(5), 617–621.
<https://doi.org/10.1007/s00300-020-02657-8>
- Francis, O. R., Hales, T. C., Hobley, D. E. J., Fan, X., Horton, A. J., Scaringi, G., & Huang, R. 2020. The impact of earthquakes on orogen-scale exhumation. *Earth Surf. Dynam.*, 8(3), 579–593.
<https://doi.org/10.5194/esurf-8-579-2020>
- Goldenberg, J., D’Alba, L., Bisschop, K., Vanthournout, B., & Shawkey, M. D. 2021. Substrate thermal properties influence ventral brightness evolution in ectotherms. *Communications Biology*, 4(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01524-w>

- Hu, F., Li, S., Xu, C., Gao, X., Miao, S., Ding, W., Liu, X., & Li, H. 2019. Effect of soil particle interaction forces in a clay-rich soil on aggregate breakdown and particle aggregation. *European Journal of Soil Science*, 70(2), 268–277. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ejss.12740>
- Jamiołkowska, A., Księżniak, A., Gałazka, A., Hetman, B., Kopacki, M., & Skwaryło-Bednarz, B. 2018. Impact of abiotic factors on development of the community of arbuscular mycorrhizal fungi in the soil: A Review. *International Agrophysics*, 32(1), 133–140. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0090>
- Jardine, T. D., Kidd, K. A., & Rasmussen, J. B. 2012. Aquatic and terrestrial organic matter in the diet of stream consumers: implications for mercury bioaccumulation. *Ecological Applications*, 22(3), 843–855. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/11-0874.1>
- Johansson, B., & Chen, D. 2003. The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: statistical analysis and modelling. *International Journal of Climatology*, 23(12), 1523–1535. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/joc.951>
- Kemp, W. M., Boynton, W. R., Adolf, J. E., Boesch, D. F., Boicourt, W. C., Brush, G., Cornwell, J. C., Fisher, T. R., Glibert, P. M., Hagy, J. D., Harding, L. W., Houde, E. D., Kimmel, D. G., Miller, W. D., Newell, R. I. E., Roman, M. R., Smith, E. M., & Stevenson, J. C. 2005. Eutrophication of Chesapeake Bay: Historical trends and ecological interactions. *Marine Ecology Progress Series*, 303(April), 1–29. <https://doi.org/10.3354/meps303001>
- Kuo, W., Tsai, C., & Chen, W.-K. 2003. An Empirical Study on the Lapse Rate: The Cointegration Approach. *Journal of Risk and Insurance*, 70(3), 489–508. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1539-6975.t01-1-00061>
- Lavoie, L., & Sirois, L. 1998. Vegetation changes caused by recent fires in the northern boreal forest of eastern Canada. *Journal of Vegetation Science*, 9(4), 483–492. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/3237263>
- Lewis, J. S., Farnsworth, M. L., Burdett, C. L., Theobald, D. M., Gray, M., & Miller, R. S. 2017. Biotic and abiotic factors predicting the

- global distribution and population density of an invasive large mammal. *Scientific Reports*, 7(March), 1–12. <https://doi.org/10.1038/srep44152>
- Longman, J., Mills, B. J. W., Manners, H. R., Gernon, T. M., & Palmer, M. R. 2021. Late Ordovician climate change and extinctions driven by elevated volcanic nutrient supply. *Nature Geoscience*, 14(12), 924–929. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00855-5>
- Manickathan, L., Defraeye, T., Allegrini, J., Derome, D., & Carmeliet, J. 2018. Parametric study of the influence of environmental factors and tree properties on the transpirative cooling effect of trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248, 259–274. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.10.014>
- McCullough, D. G., Werner, R. A., & Neumann, D. 1998. Fire and Insects in Northern and Boreal Forest Ecosystems of North America. *Annual Review of Entomology*, 43(1), 107–127. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.43.1.107>
- Mori, T., Chiba, M., Mizuyama, T., & Satofuka, Y. 2010. Estimation of Flood Discharge Caused by Landslide Dam Overflow Erosion and the Application of Countermeasures. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 3(1), 69–74. <https://doi.org/10.13101/ijece.3.69>
- Müller-Xing, R., Xing, Q., & Goodrich, J. 2014. Footprints of the sun: Memory of UV and light stress in plants. *Frontiers in Plant Science*, 5(SEP), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00474>
- Octavia, W. D., Supriatna, S., & Saraswati, R. 2022. Estuary boundary based on waters surface salinity in cimandiri estuary and cisadane estuary, indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1089(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1089/1/012009>
- Oswald, S. A., Huntley, B., Collingham, Y. C., Russell, D. J. F., Anderson, B. J., Arnold, J. M., Furness, R. W., & Hamer, K. C. 2011. Physiological effects of climate on distributions of endothermic species. *Journal of Biogeography*, 38(3), 430–438. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365->

2699.2010.02435.x

- Panel, T. R. 1952. Pressures, Densities, and Temperatures in the Upper Atmosphere. *Physical Review*, 88(5), 1027–1032. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.88.1027>
- Robock, A. 2000. Volcanic eruptions and climate. *Reviews of Geophysics*, 38(2), 191–219. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/1998RG000054>
- Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., & Lacetera, N. 2018. Review: Adaptation of animals to heat stress. *Animal*, 12(s2), S431–S444. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001945>
- Valladares, F., Laanisto, L., Niinemets, Ü., & Zavala, M. A. 2016. Shedding light on shade: ecological perspectives of understorey plant life. *Plant Ecology & Diversity*, 9(3), 237–251. <https://doi.org/10.1080/17550874.2016.1210262>
- van der Vyver, C., & Peters, S. 2017. How Do Plants Deal with Dry Days? *Frontiers for Young Minds*, 5(October), 1–9. <https://doi.org/10.3389/frym.2017.00058>
- W., T. G., & J., M. R. 1984. Effects of Aluminum and Manganese on the Growth of Ectomycorrhizal Fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 48(3), 556–560. <https://doi.org/10.1128/aem.48.3.556-560.1984>
- Wang, T. Le, Ye, S. S., Hao, W. Z., & Liu, C. P. 2015. Study on Karst Features and its Influence on the Project of Wudongde Hydropower Station of Jinsha River. *Advanced Materials Research*, 1065–1069, 638–643. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1065-1069.638>
- Weinzierl, R., Bohrer, G., Kranstauber, B., Fiedler, W., Wikelski, M., & Flack, A. 2016. Wind estimation based on thermal soaring of birds. *Ecology and Evolution*, 6(24), 8706–8718. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ece3.2585>
- Whiteman, C. D., Pospichal, B., Eisenbach, S., Weihs, P., Clements, C. B., Steinacker, R., Mursch-Radlgruber, E., & Dorninger, M. 2004. Inversion breakup in small Rocky Mountain and Alpine basins. *Journal of Applied Meteorology*, 43(8), 1069–1082. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2004\)043<1069:IBISRM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2004)043<1069:IBISRM>2.0.CO;2)

- Wilcox, B. P., & Wood, M. K. 1988. Hydrologic Impacts of Sheep Grazing on Steep Slopes in Semiarid Rangelands. *Journal of Range Management*, 41(4), 303–306. <https://doi.org/10.2307/3899383>
- Wingfield, J. C. 2013. Ecological processes and the ecology of stress: The impacts of abiotic environmental factors. *Functional Ecology*, 27(1), 37–44. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12039>
- Xu, Z., Hou, Y., Zhang, L., Liu, T., & Zhou, G. 2016. Ecosystem responses to warming and watering in typical and desert steppes. *Scientific Reports*, 6(1), 34801. <https://doi.org/10.1038/srep34801>
- Zhu, Z., Slangen, A., Zhu, Q., Gerkema, T., Bouma, T. J., & Yang, Z. 2022. The role of tides and winds in shaping seed dispersal in coastal wetlands. *Limnology and Oceanography*, 67(3), 646–659. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/lno.12024>

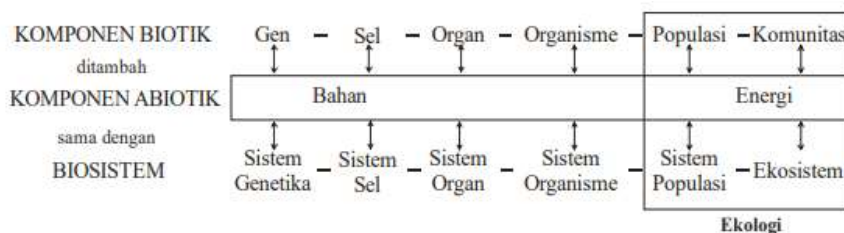
BAB 3

FAKTOR LINGKUNGAN BIOTIK

Oleh I Wayan Suanda

3.1 Pendahuluan

Ekologi merupakan pengetahuan yang mempelajari hubungan timbal balik makhluk hidup dengan lingkungan. Lingkungan terdiri dari dua komponen, yaitu biotik dan abiotik. Komponen biotik adalah segala sesuatu yang hidup, seperti mikroorganisme, tumbuhan, hewan, dan manusia. Sedangkan abiotik meliputi suatu yang berada di luar makhluk hidup, berupa: tanah, air, udara, cuaca, iklim, sinar matahari dan benda tidak hidup lainnya (Gambar 3.1). Interaksi antara komponen abiotik dan biotik tidak dapat dihindari, karena aalam sebagai lingkungan menjadi tempat makhluk hidup (biotik) berada dan melangsungkan siklus hidupnya. Setiap makhluk hidup (biotik) sangat tergantung pada makhluk hidup (biotik) lain dalam bentuk interaksi dan ketersediaan sumber daya alam yang ada disekitarnya digunakan untuk keperluan keberlangsungan hidup, seperti: pertumbuhan, perlindungan dan berkembangbiakan.



Gambar 3.1. Komponen Biotik dan Abiotik dalam Biosistem

Komponen biotik, berdasarkan fungsinya terdiri atas empat katagori, diantaranya: produsen, konsumen, pengurai (*decomposer*) dan detritivor. Tumbuh-tumbuhan merupakan biotik yang berperan sebagai produsen memiliki kemampuan untuk melaksanakan proses fotosintesis. Tumbuhan mampu melangsungkan fotosintesis

karena memiliki kloroplas yang menghasilkan klorofil dan inilah kelebihan tumbuhan. Aktivitas yang terjadi dalam fotosintesis yaitu kloroplas yang menghasilkan klorofil dan adanya faktor abiotik (cahaya matahari, H_2O dan CO_2) dapat menghasilkan sumber kehidupan yang sangat dibutuhkan bagi biotik (makhluk hidup). Keberadaan produsen menjadi sangat penting dan strategis untuk memenuhi kebutuhan biotik dan bila jumlahnya terganggu akan membahayakan organisme (biotik) lainnya di alam. Terlebih konsumen yang sangat tergantung dari produsen dan produk yang dihasilkannya, seperti pada rantai makanan.

Dekomposer yang memiliki tanggungjawab sebagai penghancur, dapat menguraikan bahan organik yang kompleks dikonversi menjadi bahan atau material lebih sederhana. Biotik yang memiliki peranan sebagai pengurai, yaitu mikroorganisme diantaranya: jamur (fungi) dan bakteri. Detritivor termasuk organisme (biotik) yang memakan material organik melalui proses penghancuran menjadi bentuk lebih kecil. Detritivor berupa cacing tanah, serangga tanah, siput dan teripang menjadikan sampah dan serasah sebagai pakan dengan mengkonversi bahan organik tersebut menjadi partikel-partikel lebih kecil (detritus). Material hasil dari penguraian kelompok dekomposer ini bermanfaat bagi kehidupan produsen. Jadi aliran energi terjadi dari biotik (produsen) ke konsumen (biotik) ke dekomposer atau pengurai (biotik) dan akhirnya kembali ke biotik (Produsen). Disinilah nilai dan peranan faktor lingkungan biotik yang terus bergerak mengalami rotasi untuk terjaganya ekosistem yang seimbang dan berkelanjutan.

3.2 Ekosistem

Organisme hidup (biotik) yang melaksanakan interaksi dengan biotik lainnya secara intraspecies dan interspecies dalam suatu lingkungan atau tempat tertentu dinamakan ekosistem. Dalam ekosistem terlibat interaksi antara komponen abiotik (sebagai tempat berada) dan biotik (organisme hidup). Interaksi artinya ada hubungan timbal balik antara beberapa organisme hidup (lingkungan biotik), bisa bersifat simbiosis mutualisme, parasitisme, komensalisme, predatorisme dan sebagainya. Interaksi antara

hewan (mammalia, aves, amfibi, reptil serta protozoa) dengan tumbuhan terus berlangsung tanpa pernah terhenti sehingga terbentuklah rantai makanan dan jaring-jaring makanan. Dari ekosistem ini makhluk hidup atau organisme (biotik) dapat dikelompokkan menjadi beberapa satuan, diantaranya: individu, populasi dan komunitas.

3.2.1 Individu

Suatu organisme bila diamati secara satu persatu maka ditemukan satu organisme yang dinyatakan sebagai individu yang sering disebut makhluk tunggal. Individu ini dapat kita lihat secara utuh, dapat dihitung, diukur dan menunjukkan sifat tunggal atau satu yang sering dinamakan spesies atau jenis. Misalnya: si Badu (nama orang), kambing Etawa (*Capra aegagrus hircus*), gajah (Elephantidae), pohon mangga (*Mangifera indica*), pohon manggis (*Garsinia mangostana* L.) dan lain sebagainya.

3.2.2 Populasi

Populasi merupakan kumpulan individu yang menempati suatu tempat dalam suatu waktu tertentu. Populasi selalu berhubungan dengan spesies atau jenis individu, ruang atau tempat berada dan dalam kurun waktu tertentu. Kepadatan populasi dapat diketahui dari individu yang menempati ruang dalam kurun waktu tertentu. Contoh: Populasi peserta didik di kelas X di suatu SMA adalah 36 orang, populasi ikan mas (*Cyprinus carpio* L.) dalam suatu akaurium, populasi serangga hama *Plutella xylostella* pada setiap tanaman kubis di areal perkebunan hortikultura, populasi serangga lebah madu yang mencari nektar dari bunga pada satu pohon santos temon, dan lain sebagainya.

3.2.3 Komunitas

Kelompok organisme yang hidup bersama-sama terdiri dari kumpulan beberapa populasi disebut komunitas. Suatu komunitas biotik terdiri dari tumbuh-tumbuhan, hewan dan manusia termasuk mikroorganisme. Setiap makhluk hidup mempunyai fungsi dan tugas yang berbeda dalam lingkungannya. Contohnya: populasi mikroba pada tanah rizosfer tanaman bambu; populasi ikan, tumbuhan ganggang dan eceng gondok dalam suatu danau;

populasi tanaman hias Begonia di kebun Raya Eka Karya Bali dan lain sebagainya. Dalam komunitas organisme (biotik) yang ada di dalamnya terdiri dari 4 (empat) kelompok, yaitu produsen, konsumen, pengurai dan detritivor. Namun beberapa sumber hanya membedakan kedalam 3 kelompok, yaitu produsen, konsumen dan pengurai (dekomposer).

3.3 Komponen Biotik

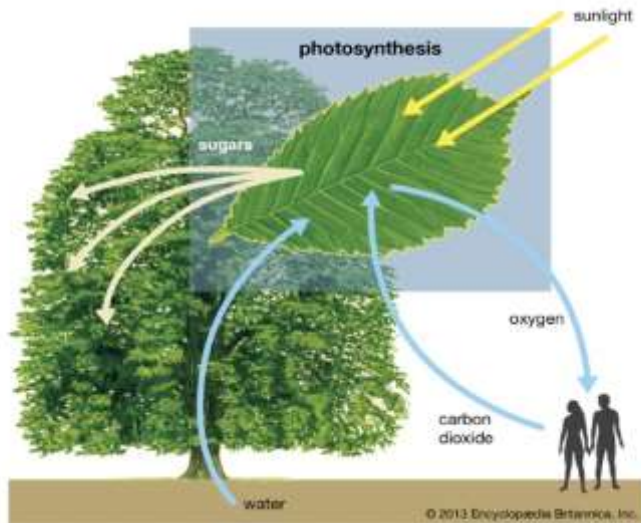
Biotik merupakan kelompok organisme hidup yang menempati lingkungan alam dan mengadakan interaksi satu sama lainnya. Interaksi yang terjadi di lingkungan biotik pada beberapa tanaman penghasil nektar sebagai pakan dari beberapa jenis serangga, lebah madu dapat menghasilkan produk madu yang memiliki nilai tinggi. Inilah sebagai sumbangsih akibat adanya interaksi antara lingkungan biotik, yaitu tanaman penghasil nektar dengan serangga dan lebah madu (Gambar 3.3). Berdasarkan cara memperoleh makanan, maka komponen biotik terdiri atas 2 (dua) jenis, yaitu: organisme autotrof dan organisme heterotrof.

Fotosintesis yang dilangsungkan tumbuhan mampu menghasilkan sumber kehidupan di alam, baik kehidupan hewan maupun manusia (biotik) yang berupa glukosa ($C_6H_{12}O_6$) dan O_2 (oksigen) serta energi lainnya. Inilah siklus interaksi sebagai proses anabolisme, yang tanpa pernah terhenti terjadi di alam yang melibatkan faktor biotik, yaitu tumbuhan dan hewan. Keberadaan tumbuhan bagi manusia dan hewan menjadi sangat vital serta sulit tergantikan, karena organel kloroplas yang dimiliki. Menyempitnya areal tempat hidup bagi tumbuhan akan menjadi malapetaka bagi kehidupan organisme lain (manusia dan hewan). Kondisi ini perlu menjadi pemikiran, pertimbangan secara arif dan bijaksana untuk mencari solusi terbaik, untuk menjaga alih fungsi lahan sebagai tempat tumbuhnya beberapa tumbuhan dan mempertimbangkan secara bijaksana dalam pemanfaatan lahan untuk alih fungsi.

3.3.1 Organisme Autotrof

Autotrof merupakan organisme yang mampu menghasilkan makanan sendiri dengan mengubah bahan anorganik menjadi bahan organik dengan melibatkan energi. Tumbuhan merupakan contoh organisme autotrof, dimana pada tumbuhan memiliki

organela klorofil yang menghasilkan klorofil. Klorofil yang dihasilkan tumbuhan ini menyebabkan tumbuhan mampu melangsungkan proses fotosintesis. Dalam fotosintesis air (H_2O) dan karbondioksida (CO_2) dengan bantuan cahaya matahari (karena adanya bantuan cahaya matahari maka disebut fotoautotrof). Proses fotosintesis ini mampu menghasilkan sumber kebutuhan hidup, berupa glukosa ($C_6H_{12}O_6$), oksigen (O_2) dan energi yang sangat dibutuhkan bagi organisme hidup (biotik) lainnya (Gambar 3.2). Namun ada organisme autotrof yang memanfaatkan sumber energi dari hasil reaksi kimia untuk dapat menghasilkan makanan (disebut kemoautotrof), seperti: bakteri Nitrit dan bakteri Nitrat. Pemanfaatan bakteri Nitrat sangat membantu dalam penyediaan unsur hara bagi tanaman dan sangat baik dalam pertanian berkelanjutan. Penambatan nitrogen oleh bakteri dapat memberikan keuntungan bagi tanaman dan usaha pertanian ramah lingkungan sebagai pengganti pupuk anorganik (Bhat *et al.*, 2015; Soumare *et al.*, 2020).



Gambar 3.2. Proses Fotosintesis

3.3.2 Organisme Heterotrof

Heterotrof merupakan organisme yang tidak mampu menghasilkan makanan sendiri, untuk kehidupannya makanan disuplai atau disediakan dari organisme lain (autotrof). Hal ini disebabkan karena heterotrof tidak memiliki organela kloroplas yang bermanfaat dalam proses fotosintesis. Organisme yang tergolong heterotof berada pada trofik konsumen, berupa biofage dan saprofage diantaranya: serangga menghiasp nektar pada bunga tanaman air mata pengantin (*Antigonon leptopus*), Jastroph (*Jatropha integerrima*), santos lemon (*Xanthostemon chrysanthus*). Tanaman bunga ini selain memiliki nektar yang cukup banyak, juga memberikan nilai estetika keindahan serta iklim mikro yang disebabkan oleh faktor lingkungan biotik, yaitu tanaman bunga ini.



Gambar 3.3. Tanaman Bunga Penghasil Nektar yang disukai Serangga dan Lebah Madu. (No.1. Bunga Air Mata Pengantin; 2. Jatropa dan 3. Santos Lemon kuning) (dari arah kanan ke kiri)
(Sumber: I Wayan Suanda, 2023)

Makhluk hidup yang tergolong sebagai komponen biotik terdiri dari individu, populasi dan komunitas dan dalam komunitas terdapat 4 (empat) kelompok, yaitu: produsen, konsumen, pengurai dan detritivor. Mekanisme kerja dari keempat kelompok ini dapat membentuk rantai makanan dan jaring-jaring makanan dalam lingkungan ekosistem yang seimbang dan berkelanjutan.

1. Produsen

Produsen yaitu organisme autotrof, umumnya tumbuhan berklorofil yang mensintesis makanan dari bahan anorganik menjadi bahan organik. Produsen termasuk organisme autotrof yang mampu menyusun senyawa organik yang berasal dari senyawa anorganik melalui fotosintesis, maka disebut fotoautotrof. Contoh: tumbuhan berklorofil dan ganggang biru. Bila dalam proses pembuatan makanan melibatkan senyawa kimia disebut kemosintesis, seperti terjadi pada bakteri Nitrat dan Nitrit.

2. Konsumen

Konsumen atau pengguna tergolong kedalam organisme heterotrof, berupa hewan herbivora (hewan pemakan tumbuh-tumbuhan), carnivora (hewan pemakan daging) dan omnivora (hewan pemakan segalanya). Kelompok konsumen memanfaatkan bahan organik yang dihasilkan produsen. Dari proses makan dan dimakan yang terjadi antara produsen dan konsumen, maka terbentuklah rantai makanan dan jaring-jaring makanan yang semakin luas. Hal ini disebabkan keterbatasan yang dimiliki kelompok ini akibat tidak adanya organela kloroplas.

3. Pengurai

Pengurai atau dekomposer memiliki peranan sebagai perombak, yang memiliki kemampuan untuk menguraikan organisme yang telah mengalami kematian (sebagai bahan organik). Kelompok pengurai umumnya terdiri atas mikroorganisme (bakteri dan jamur), termasuk juga organisme detritivor. Dalam proses perombakan atau penguraian bahan organik, organisme pengurai ini dibantu oleh suatu enzim yang dihasilkan untuk memudahkan penghancuran material tersebut.

4. Detritivus

Detritivor adalah organisme yang memakan bahan organik berupa sampah dan serasah sehingga menjadi partikel-partikel yang lebih kecil (detritus). Detritivus ini mampu mengkonversi bahan organik dalam bentuk relatif besar menjadi material yang lebih kecil. Hal ini bisa kita

lihat pada proses konversi bahan organik, berupa sampah kulit buah-buahan, sayuran yang dimakan atau dihancurkan sejenis larva dari Maggot atau *Balck Solidier Fly* (BSF). Selain larva Maggot, yang tergolong detritivus yaitu: cacing tanah, serangga tanah, siput, keluwing dan teripang. Detritivus ini ada beberapa referensi memasukkan kedalam dekomposer atau pengurai, namun dalam tulisan ini dekomposer berupa mikroorganisme dari bakteri dan jamur yang mampu mempercepat penguraian atau pelapukan bahan organik.

3.3 Interaksi Faktor Biotik

Interaksi antar faktor biotik atau biologis dapat berlangsung pada trofik individu atau spesies, populasi dan komunitas (Chaniago, 2016). Interaksi tersebut dapat berupa kompetisi, predasi, dan simbiosis

3.3.1 Kompetisi

Merupakan bentuk hubungan antara satu spesies dengan spesies lainnya jika terjadi persaingan atau berkompetisi di antara mereka. Kompetisi terjadi pada saat mencari makanan, tempat tinggal, atau mencari pasangan. Persaingan dalam mencari pakan (makanan) antara kambing, kerbau dan sapi untuk memenuhi kebutuhan pangan berupa rumput (Nila *et al.*, 2013).

3.3.2 Simbiosis

Simbiosis atau kerjasama yang dilakukan antara dua atau lebih spesies berbeda yang hidup dalam satu kawasan. Menurut Sumarto dan Koneri, 2016, kerjasama atau simbiosis dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu: 1) Mutualisme; 2) parasitisme dan 3) komensalisme.

1. Simbiosis Mutualisme: kerjasama yang terjadi diantara beberapa spesies makhluk hidup yang saling menguntungkan, seperti: simbiosis antara tumbuhan bunga (santos lemon) dengan lebah madu, *Trigona* sp. Lebah mendapat pakan berupa nektar sebagai sumber bahan madu dan tanaman dibantu dalam proses penyerbukan (Gambar 3.4).



Gambar 3.4. Serangga Mencari Nektar pada Tanaman Santos Lemon dan Jatrofa
(Sumber: I Wayan Suanda, 2023)

2. Simbiosis Komensalisme: simbiosis yang terjadi dari beberapa spesies, di mana satu organisme diuntungkan, sedangkan yang lain tidak dirugikan dan tidak ada pengaruh. Contoh simbiosis antara ikan remora dan hiu. Ikan remora mengambil sisa makanan dan berlindung disekitar hiu, sehingga pemangsa ikan remora menjadi ketakutan (Gambar 3.5).



Gambar 3.5. Ikan Hiu dan Remora Hidup Berdampingan Mencari Pakan

(Sumber: <https://www.google.com/search?q=Gambar+Hiu+dan+remora&oq>)

3. Simbiosis Parasitisme: dalam kerjasama (simbiosis) ini dimana satu organisme diuntungkan sedangkan yang lain dirugikan. Organisme yang diuntungkan disebut parasit, sedangkan organisme yang dirugikan disebut inang atau hospes. Nutrisi (makanan) didapat dari inang yang ditumpanginya. Parasit ini membunuh inangnya secara perlahan-lahan dan bentuk tubuh lebih kecil dari inangnya. Berbeda dengan predator, dimana pemangsa memiliki ukuran tubuh lebih besar dibandingkan yang dimangsa dan cara membunuh lebih cepat. Contoh: kutu rambut (ektoparasit). Tumbuhan dan parasit (kepasilan) hidup menghisap sari-sari makanan dari inangnya. Parasit memiliki akar besar yang menempel pada bagian tanaman inang (Gambar 3.6).



Gambar 3.6. Simbiosis Parassitisme pada Tumbuhan
(Sumber: I Wayan Suanda, 2023).

4. Antibiosis merupakan simbiosis yang terjadi antara dua organisme (umumnya mikroorganisme) di mana salah satu organisme menghambat pertumbuhan yang lain. Misalnya, jamur *Penicillium* menghambat pertumbuhan bakteri dengan mengeluarkan antibiotik penisilin, jamur *Trichoderma asperillum* menghambat pertumbuhan jamur patogen (*Schizopillum commune*) (Suanda, 2017; Suanda, 2019), disajikan pada Gambar 3.7.

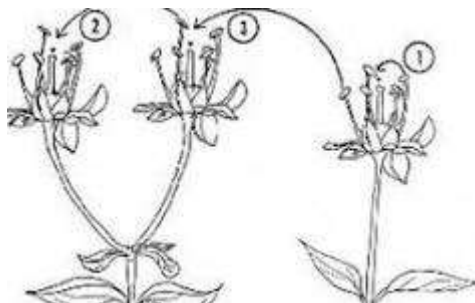


Gambar 3.7. *Trichoderma asperillum* Menghambat *Schizopillium commune*
(Sumber: I Wayan Suanda, 2017)

Berdasarkan jenis makhluk hidup atau organisme (biotik) terdapat dua jenis interaksi, yaitu: intraspesies (intraspesifik) dan interspesies (Interspesifik).

3.3.3 Interaksi Intraspesies

Dalam interaksi intraspesies ini terjadi hubungan antara organisme (biotik) yang berasal dari satu spesies atau spesies yang sama. Interaksi intraspesies ini nantinya membentuk suatu populasi, seperti: populasi ayam dalam suatu kandang, populasi tanaman anggrek dalam suatu rumah kaca, pupulasi tanaman padi dalam satu petak lahan. Ayam yang ada di dalam kandang akan menjalin interaksi saat diberikan pakan, terjadi interaksi dalam melangsungkan perkawinan. Tanaman anggrek dengan variasi penempatan, percabangan dan bentuk bunga serta warna bunga yang indah dapat terjadi interaksi dalam penyerbukan silang (alogami). Pada penyerbukan silang ini terjadi proses polinasi, dimana serbuk sari yang berasal dari tanaman satu jatuh di kepala putik bunga tanaman lain (Gambar 3.8). Interaksi pada tanaman melalui penyerbukan ini menghasilkan organ atau bagian yang baru berupa buah.



Gambar 3.8. Penyerbukan Silang (Alogami) pada Tanaman Bunga

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

Populasi organisme pada interaksi intraspesies yang menempati suatu tempat atau wilayah tertentu dapat membentuk suatu habitat. Jadi dalam habitat dapat ditemukan sekelompok organisme (biotik), baik kelompok hewan maupun kelompok tumbuhan. Habitat dapat ditemukan di beberapa tempat di Indonesia, seperti: habitat Badak (*Rhinocerotidae*) di Ujung Kulon, Habitat burung Jalak Putih (*Sturnus melanopterus*) di Taman Nasional Bali Barat (TNBB), Habitat tumbuhan paku-pakuan (suku Pteridaceae) di Kebun Raya Ekakarya Bali (Gambar 3.9) dan habitat lainnya.



Gambar 3.9. Pintu Masuk Taman *Chytachea* yang mengkoleksi jenis Paku-Pakuan(suku Pteridaceae) di Kebun Raya Ekakarya Bali

(Sumber: <https://www.mongabay.co.id/>)

Hubungan intraspesies ini berupa: proses reproduksi, persaingan untuk mendapatkan makanan (kompetisi) dan saling bantu membantu, seperti: pada semut dan rayap, ayam dengan burung, kambing dengan sapi dan lain sebagainya. Dari hubungan yang terjalin ini, maka akan terbentuk beberapa interaksi berupa kerjasama atau simbiosis (Campbell and Reece. 2008).

3.3.4 Interaksi Interspesies atau Interspesifik

Interaksi Interspesies atau Interspesifik, bentuk hubungan antara organisme (biotik) dari beberapa jenis spesies yang berbeda. Interaksi ini bisa terjadi antara beberapa hewan yang jenisnya berbeda atau dari beberapa jenis tumbuhan, bahkan antara beberapa jenis hewan dengan beberapa jenis tumbuhan. Contohnya: jenis tumbuhan yang hidup di taman sekolah, jenis hewan di Taman Safari dan jenis kupu-kupu di taman kupu-kupu di Desa Wanasari, Kabupaten Tabanan, Bali. Bila serangga atau kupu-kupu hinggap pada bunga untuk menghisap nektar sebagai pakannya, maka akan terjadi proses penyerbukan pada tanaman tersebut yang dibantu oleh hewan (zoidiogami).

3.4 Hubungan Lingkungan Biotik

Lingkungan yang sehat menjadi harapan bagi semua makhluk hidup (biotik) yang ada di dalamnya. Namun kondisi tersebut tidak mudah ditemukan dan lebih sering mendapatkan rintangan dan kondisi tidak menguntungkan, sehingga perlu adanya rekayasa lingkungan. Pengaruh yang diberikan lingkungan terhadap organisme (biotik) cukup besar, namun kehidupan organisme (biotik) tidak sepenuhnya tergantung pada lingkungan sebagai sistem yang kompleks. Kondisi ini juga mampu dimodifikasi dalam kehidupan diantara sesama organisme (biotik), menyebabkan cocok untuk hidupnya atau organisme itu berusaha melakukan terobosan baru yang salah satunya berupa adaptasi atau penyesuaian diri. Lingkungan sebagai suatu sistem yang kompleks dan akan terjadi saling mempengaruhi antar organisme (biotik) yang ada di dalamnya. Oleh karenanya perlu ada usaha secara sistematis untuk memodifikasi kehidupan yang ada agar memberikan kenyamanan dan cocok bagi kehidupan yang lain. Adanya cara hewan Keluwing atau

hewan kaki seribu (Diplopoda) untuk mengklabui hewan pemangsa, maka beradaptasi atau merubah bentuk menjadi bergulung (seolah-olah mati sebagai bentuk adaptasi mimikri, sehingga lolos dari maut).

Demikian juga pada hewan Bunglon (*Bronchocela jubata*) yang melakukan adaptasi mimikri menyesuaikan warna kulitnya dengan warna tempat disekitarnya, akan lepas dari penglihatan hewan pemangsa (Gambar 3.10). Termasuk adaptasi pada tumbuh-tumbuhan yang menggugurkan daun dan tumbuh tunas kembali, walaupun ini akan memberi dampak bagi kehidupan hewan (biotik) di lingkungan tersebut terkait dengan penyediaan pakan, tempat berlindung dan kenyamanan hidup. Hal ini ditemukan setiap saat bila kondisi pohon (biotik) gugur sebagai adaptasi di musim kering, dapat menyebabkan kehidupan hewan lain seperti kera menjadi bermasalah dalam mendapatkan kebutuhan hidup. Hubungan faktor lingkungan biotik juga dapat terjadi pada tanaman kubis (*Brassica oleracea* var. *capitata*) terhadap serangga *Plutella xylostella* L. Tanaman kubis yang memiliki struktur daun lebat dapat memberikan kesempatan untuk hidup dan bertelur lebih banyak bagi imago *Plutella xylostella* (Suanda, 2021). Keberadaan serangga imago akan menjadi lebih nyaman bila daun kubis lebat dan banyak. Kondisi seperti ini penulis alami saat melakukan penelitaian atau riset terkait pengujian ekstrak daun Brotowali (*Tinospora crispa* L) terhadap pengendalian hama *Plutella xylostella* pada tanaman kubis. Lebih lanjut dalam riset ini juga telah terjadi kerusakan yang lebih parah pada daun tanaman kubis akibat dimakan larva *Plutella xylostella*. Inilah terjadi hubungan antara faktor biotik, yaitu kelebatan daun kubis dan populasi larva *Plutella xylostella* yang lebih banyak.



Gambar 3.10. Adaptasi Bunglon dengan Daun Tanaman untuk Menyelamatkan Diri

(Sumber: <https://mediaindonesia.com/humaniora/602274/4-cara-adaptasi>)

Kondisi lain juga terjadi akibat pengaruh faktor biotik, yaitu terjadinya temperatur lingkungan mikro bila dalam suatu ekosistem banyak ditumbuhi pepohonan besar yang memiliki daun lebat. Hal ini dapat kita temukan dalam lingkungan hutan akan memberikan kondisi yang nyaman dan teduh bagi manusia (biotik) yang berkunjung. Pada pohon-pohon terlebih pohon besar yang berinteraksi dengan jenis tumbuhan paku-pakuan dan lumut, begitu pula hewan dan serangga kecil termasuk burung bersarang. Kondisi ini memberikan kondisi kehidupan dari berbagai jenis organisme (biotik) sebagai bentuk interaksi sehingga memberikan lingkungan yang nyaman dan cocok bagi faktor biotik lainnya (Gambar 3.11).



Gambar 3.11. Faktor Lingkungan Biotik Saling Interaksi
(Sumber: I Wayan Suanda, 2023)

3.5 Faktor Pembatas

Setiap organisme hidup (biotik) mempunyai kepekaan terhadap faktor pembatas, dimana faktor pembatas ini menjadi selektor. Organisme yang mampu bertahan hidup dengan baik dalam suatu tempat, maka disebut sebagai indikator biologi (indikator ekologi). Hal ini terjadi saat Gunung Karakatau meletus, menimbulkan kerusakan ekosistem dan nyaris kehidupan berada dalam radius dekat sumber erupsi menjadi musnah, namun ada tumbuhan yang masih hidup disana. Jadi adanya faktor pembatas dapat menjadi seleksi kemampuan hidup dari organisme masing-masing. Kemampuan organisme (biotik) bertahan hidup di suatu tempat atau wilayah menjadi suatu kekuatan dan kemampuan beradaptasi baginya.

Suatu organisme hidup (biotik) memiliki daya hidup dengan batas toleransi yang lebar untuk suatu faktor yang relatif mantap dan dalam jumlah yang cukup, maka faktor ini bukan merupakan faktor pembatas. Namun sebaliknya apabila suatu organisme hidup (biotik) hanya memiliki batas toleransi tertentu untuk suatu faktor yang beragam, maka faktor ini dapat dinyatakan menjadi faktor pembatas (Mustaqim, 2018). Dalam Hukum Minimum Liebig disebutkan “suatu organisme tidak lebih kuat dari pada rangkaian

terlemah dari rantai kebutuhan ekologiannya'. Lebih lanjut disebutkan dalam Hukum Liebig, bahwa pertumbuhan suatu tanaman akan ditentukan oleh unsur hara esensial dalam skala minimum kritis, namun kehidupan tanaman itu tidak hanya ditentukan unsur hara yang ketersediannya minimal. Liebig lebih lanjut menyatakan bahwa ketiadaan kekurangan unsur tertentu (alkali) menjadi penyebab tumbuhan tersebut tidak tumbuh optimal (Mustaqim, 2018). Hukum Minimum ini diperkenalkan pada tahun 1840 oleh Justus von Liebig, seorang ahli kimia organik berkebangsaan Jerman, sehingga populer disebut Hukum Minimum Liebig. Pengetahuan terkait batas toleransi dari suatu organisme (biotik) menjadi gambaran yang menjadi petunjuk dalam memprediksi kemampuan daya hidup dari suatu organisme. Stine dan Huybers (2017) dalam laporannya dinyatakan bahwa menggunakan lingkaran tahun untuk mengetahui adanya faktor pembatas minimum lingkungan. Kedua ahli ini berhasil mengungkapkan bahwa pada tingkatan lokal, lingkaran tahun berkorelasi dengan perkembangan temperatur di bumi dan sejalan dengan hukum minimum Liebig.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhat, T.A; Ahmad, L; Ganai, M.A; Shams-Ul-Haq, & Khan, O.A. 2015. Nitrogen Fixing Biofertilizers; Mechanism and Growth Promotion: A review. *Journal of Pure and Applied Microbiology*; 9(2): 1675-1690.
- Chaniago, R. 2016. Biologi. 1st edn. Yogyakarta: Innosain. Available at:<https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpac.aspx?id=960617>
- Campbell and Reece. 2008. Biology. San Fransisco: Pearson Benjamin Cummings.
- Mustaqim, W.A. 2018. Hukum Minimum Liebig-Sebuah Ulasan dan Aplikasi Dalam Biologi Kontemporer. *Jurnal Bumi Lestari*; 18(1): 28-32.
- Nila, E; Nurhamiyawan, L dan Prihandono, B. 2013. Analisis Dinamika Model Kompetisi Dua Populasi yang Hidup. *Jurnal Bimaster*; 02(3): 197-204.
- Soumare, A; Diedhiou, A.G; Thuita, M; Hafidi, M; Ouhdouch, Y; Gopalakrishnan, S & Kouismi, L. 2020. Exploiting Biological Nitrogen Fixation: A Route. *Plants*; 9(2020): 1–22.
<https://doi.org/doi:10.3390/plants9081011>
- Stine, A. R., & Huybers, P. 2017. Implications of Liebig's law of the minimum for tree-ring reconstructions of climate. *Environmental Research Letters*; 12(11).
- Suanda, I.W. 2021. Manisnya Brotowali sebagai Fitofarmasida. Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas PGRI Mahadewa Indonesia. Bali. Klik Media Press. 193 hal.
https://drive.google.com/folderview?id=14LFZTSDwsgqORvHx0phf_Z6NFo6TUBz-
- Suanda, I.W. 2019. Karakterisasi Morfologis *Trichoderma* sp. Isolat JB dan Daya Hambatnya terhadap Jamur *Fusarium* sp. Penyebab Penyakit Layu dan Jamur Akar Putih pada Beberapa Tanaman. Program Studi Pendidikan Biologi FPMIPA IKIP PGRI Bali. *Jurnal Widya Biologi*; 10(02): 99-112.
- DOI: <https://doi.org/10.32795/widyabiologi.v10i02.407>

Suanda, I.W. 2017. Identifikasi Patogen penyakit Akar Putih pada Tanaman Cengkeh (*Syzygium aromaticum* L.) dan Pengendalian secara Hayati. Disertasi, Universitas Udayana.

BAB 4

POPULASI DAN DINAMIKA POPULASI

Oleh Irfan Martiansyah

4.1 Pendahuluan

Populasi adalah elemen kunci dalam pemahaman ekosistem dan dunia yang kita tinggali. Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai sumber telah mencatat perkembangan penting dalam studi populasi. Menurut data PBB pada tahun 2021, populasi dunia diperkirakan mencapai lebih dari 7,8 miliar individu, dan pertumbuhan populasi masih menjadi isu global yang relevan (United Nations, 2021).

Studi tentang populasi dan dinamika populasi adalah topik penting dalam ilmu ekologi, sosiologi, demografi, dan berbagai bidang lainnya. Hal ini memberikan pemahaman mendalam tentang bagaimana populasi manusia, hewan, atau organisme lainnya berinteraksi dengan lingkungan dan bagaimana faktor-faktor sosial, ekonomi, dan lingkungan mempengaruhi perubahan dalam jumlah dan komposisi populasi.

Pemahaman tentang populasi sebagai komponen pengetahuan ekologi menjadi lebih umum. Dinamika populasi telah berkembang menjadi bidang penelitian yang mandiri. Memahami dinamika populasi memungkinkan individu mengelola populasi secara efektif untuk mencegah ekspansi dan kepunahan yang cepat. Hal ini menggarisbawahi pentingnya memahami dinamika populasi dan kaitannya dengan biologi lingkungan serta bagaimana hal itu mempengaruhi planet kita.

4.2 Sejarah Perkembangan Dinamika Populasi

Dinamika populasi tidak bisa dilepaskan dari ilmu ekologi. Ilmu ekologi adalah cabang ilmu yang membahas atau mempelajari tentang makhluk hidup dapat bertahan hidup di habitatnya dengan cara melakukan hubungan dengan makhluk hidup lainnya serta

benda yang tidak hidup yang ada di lingkungannya (Berryman, 1999).

Pada masa itu, ilmu ekologi berkembang sangat cepat bila dibandingkan dengan dinamika populasi. Perkembangan ilmu ekologi ini dikembangkan ke dalam bidang-bidang lain, seperti bidang botani dan bidang zoologi. Berkembangnya ilmu ekologi diawali dengan mempelajari geografi tumbuhan yang dapat tumbuh dan berkembang menjadi satu komunitas tumbuhan, sehingga menghasilkan ekologi tumbuhan (Berryman, 1999; Henriques & Hay, 2002).

Munculnya ekologi tumbuhan membuat para ilmuwan mulai mengembangkan studinya dengan membahas atau mempelajari dinamika populasi atau ekologi populasi. Seiring berjalannya waktu, ilmu dinamika populasi ini mengalami perkembangan. Para ahli yang mengembangkan teori dinamika populasi ini, seperti Lotka (1925) dan Volterra (1926). Kedua ahli tersebut mengembangkan dinamika sosial menggunakan pendekatan secara eksperimen.

Alfred Lotka adalah seorang ahli matematika dan biolog yang dikenal karena mengembangkan model persamaan diferensial yang menjelaskan pertumbuhan populasi, yang saat ini dikenal sebagai "Hukum Lotka-Volterra." Kontribusinya dalam memahami dinamika populasi sangat berharga dan model ini menjadi dasar bagi banyak penelitian dalam ekologi populasi (Lotka, 1920a; 1925b).

Vito Volterra adalah ahli matematika dan fisika asal Italia yang juga memiliki peran signifikan dalam pengembangan teori dinamika populasi. Model Lotka-Volterra yang menggambarkan interaksi antara predator dan mangsa adalah hasil kerja sama antara Alfred Lotka dan Vito Volterra (Volterra, 1926a; 1928b).

Karya-karya Lotka dan Volterra ini telah menjadi dasar dalam memahami bagaimana populasi makhluk hidup berinteraksi dalam ekosistem dan bagaimana faktor-faktor seperti kompetisi, predasi, dan sumber daya mempengaruhi dinamika populasi. Kontribusi mereka telah membantu ilmu ekologi dan pemahaman kita tentang kompleksitas hubungan antarorganisme dalam ekosistem.

Bukan hanya dua ahli itu saja, pada tahun 1940-an hingga 1950-an ada dua tokoh lagi yang mengembangkan dinamika

populasi ini dengan konsep-konsep tingkah laku yang sifatnya intrinsik dan agresif, yaitu G. Evelyn Hutchinson dan A. J. Nicholson. G. Evelyn Hutchinson adalah seorang ekolog terkenal yang dikenal atas konsep ekologi yang menggabungkan pendekatan matematika dan pemahaman tentang ekosistem. Dia berkontribusi pada pemahaman tentang kompetisi, kompartemen ekologi, dan kompleksitas dalam dinamika populasi (Hutchinson, 1947a; 1959b). A. J. Nicholson adalah seorang ahli biologi yang sangat berperan dalam memahami regulasi populasi, terutama dalam konteks tingkah laku intrinsik dan dinamika populasi hama. Karyanya membantu menjelaskan konsep-konsep seperti batas daya dukung (*carrying capacity*) dalam ekologi populasi (Nicholson & Bailey, 1935; Nicholson, 1954).



Gambar 4.1. Empat ahli yang berpengaruh dalam perkembangan teori dinamika populasi a) Alfred Lotka b) Vito Volterra c) G. Evelyn Hutchinson d) A. J. Nicholson (Sumber: <https://en.wikipedia.org/wiki/>)

Keempat ahli ini telah memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teori dinamika populasi dan berpengaruh dalam pemahaman tentang bagaimana populasi makhluk hidup

berinteraksi dengan lingkungan dan bagaimana faktor-faktor ekologis mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan populasi.

4.3 Apa itu Populasi dan Dinamika Populasi?

4.3.1 Pengertian Populasi

Populasi adalah jumlah individu dari suatu spesies yang tinggal di suatu daerah atau lingkungan tertentu pada suatu titik waktu (Begon et al., 2006; Krebs, 2014; Fretwell, 2020). Populasi mengacu pada sekelompok individu yang termasuk dalam spesies tertentu. Konsep ini berpendapat bahwa meskipun anggota spesies tertentu tersebar secara geografis, tidak semua dari mereka dapat melakukan perkawinan atau pertukaran genetik karena pemisahan fisik mereka. Populasi mengacu pada sekelompok individu yang tinggal di lokasi tertentu yang memiliki kemampuan untuk kawin campur dan berbagi materi genetik satu sama lain (Charlesworth, 2009; Charlesworth & Charlesworth, 2010).

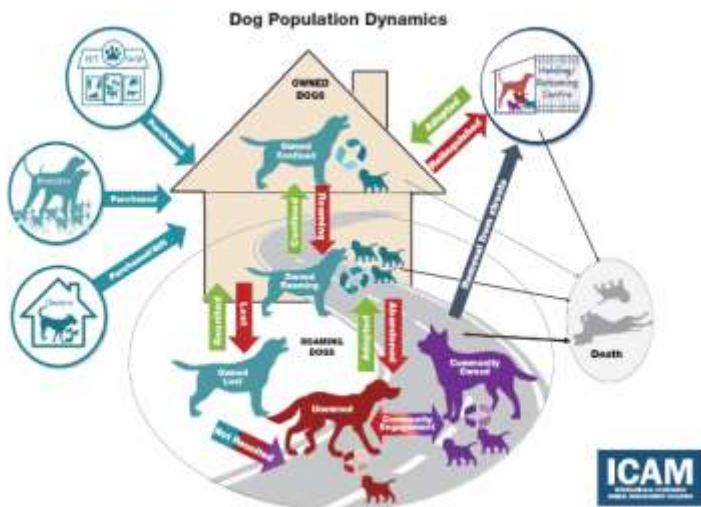


Gambar 4.2. Populasi burung Jalak Bali di Taman Nasional Bali Barat (TNBB) dan populasi kantong semar di Pulau Bangka Belitung (<https://www.goodnewsfromindonesia.id/2022/03/07/berburu-kantong-semar-yang-bersembunyi-di-pulau-timah>).

4.3.2 Pengertian Dinamika Populasi

Dinamika populasi merujuk pada perubahan dalam ukuran, komposisi, dan distribusi populasi tersebut seiring berjalannya waktu. Berdasarkan dari perkembangan yang sudah terjadi pada dinamika populasi, maka dinamika populasi dibagi menjadi dua kata, dinamika adalah suatu pertumbuhan atau penurunan yang terjadi pada suatu makhluk hidup. Sedangkan populasi adalah

sekelompok spesies yang hidup dan berkembang serta tinggal di suatu habitat dengan menggunakan sumber daya alam di habitat itu untuk bertahan hidup (Lande, 2003; Schiel & Foster, 2006; Barreiro-Gomez, 2016).



Gambar 4.3. Ilustrasi dinamika populasi anjing (Sumber: <https://www.icam-coalition.org/>)

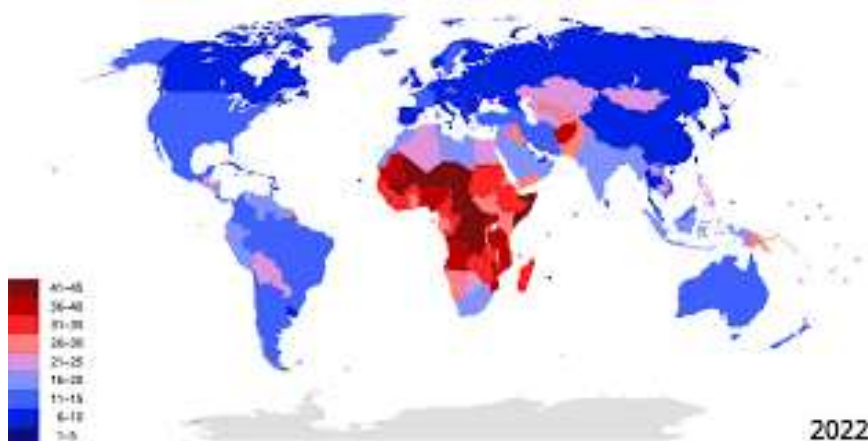
Jadi, dinamika populasi adalah naik dan turunnya jumlah spesies yang terjadi pada suatu habitat yang disebabkan oleh berbagai macam hal, mulai dari persaingan antar jenis, pemangsaan, hingga kondisi alam yang berubah.

4.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Dinamika Populasi

Dinamika populasi mengacu pada perubahan jumlah, komposisi, dan distribusi individu-individu dalam suatu populasi tertentu seiring berjalannya waktu. Faktor-faktor yang mempengaruhi dinamika populasi dapat sangat beragam dan melibatkan aspek ekologi, genetika, dan lingkungan. Berikut adalah beberapa faktor utama yang mempengaruhi dinamika populasi:

4.4.1 Laju Kelahiran (*Birth Rate*) dan Kematian (*Death Rate*)

Laju kelahiran dan kematian adalah faktor utama dalam mengendalikan pertumbuhan populasi. Tingkat kelahiran yang tinggi dan tingkat kematian yang rendah akan mendorong pertumbuhan populasi yang cepat, sementara sebaliknya akan memperlambat pertumbuhan populasi (Krebs, 2014).



Gambar 4.4. Tingkat kelahiran kasar di negara-negara berdaulat ditambah Greenland, Guyana Prancis, Kaledonia Baru, dan Puerto Riko. (Sumber:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Birth_rate#/media/File:Crude Birth Rate Map by Country.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Birth_rate#/media/File:Crude_Birth_Rate_Map_by_Country.svg))

4.4.2 Migrasi

Migrasi adalah pergerakan individu masuk atau keluar dari suatu populasi. Hal ini dapat memberikan dampak besar pada dinamika populasi. Misalnya, imigrasi dapat meningkatkan jumlah populasi, sementara emigrasi dapat menyebabkan penurunan populasi (Hanski & Gilpin, 1997).



Gambar 4.5. Burung di Amerika Utara meninggalkan tempat berkembang biaknya dan bermigrasi ke daerah lain untuk menghabiskan musim dingin. (Sumber: <https://www.wondriumdaily.com/why-do-birds-migrate-the-science-and-evolution-of-long-range-migration/>)

4.4.3 Interaksi Antarspesies

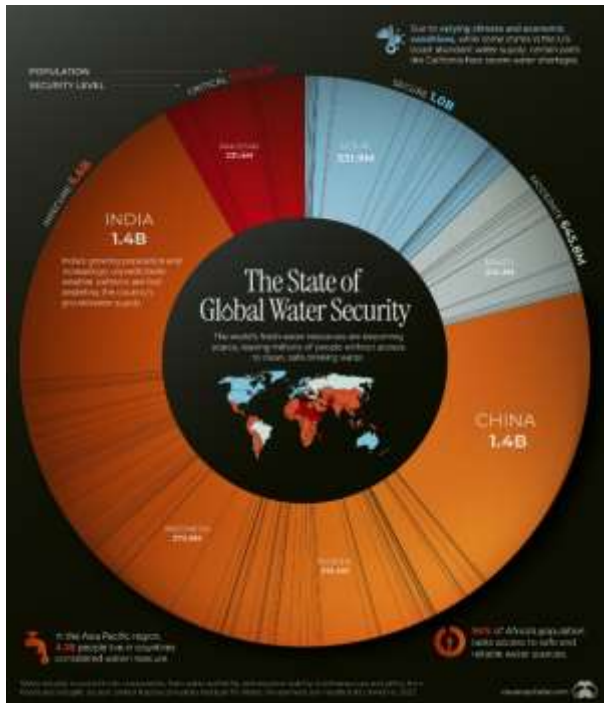
Persaingan dengan spesies lain, predasi, dan hubungan simbiotik memainkan peran penting dalam mengatur jumlah individu dalam populasi. Interaksi antarspesies dapat mempengaruhi laju kelahiran dan kematian individu (Gotelli, 2008).



Gambar 4.6. Ilustrasi interaksi antarspesies. (Sumber: <https://www.pathwayz.org/Tree/Plain/INTERSPECIFIC+INTERACTIONS>)

4.4.4 Ketersediaan Sumber Daya

Ketersediaan makanan, air, tempat berlindung, dan sumber daya lainnya mempengaruhi kapasitas lingkungan untuk mendukung populasi. Perubahan dalam ketersediaan sumber daya dapat mempengaruhi kelangsungan hidup dan laju kelahiran individu (Tilman, 1982).



Gambar 4.7. Memvisualisasikan populasi global berdasarkan tingkat ketahanan dan ketersediaan air.

(Sumber:<https://www.visualcapitalist.com/global-water-security/>)

4.4.5 Perubahan Iklim

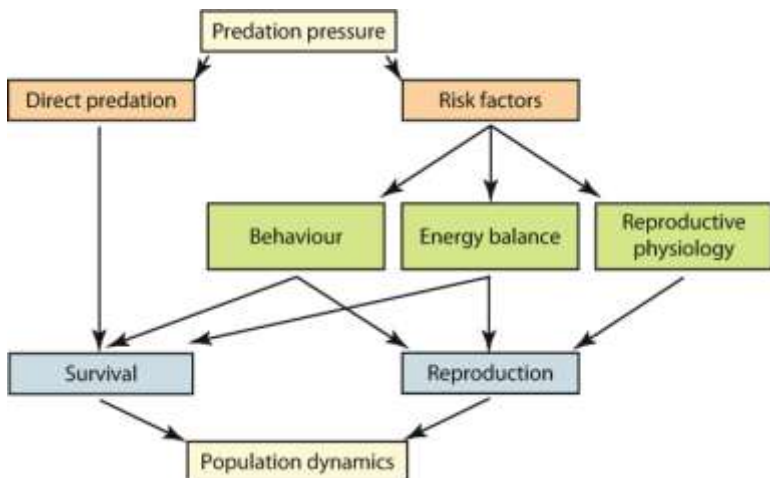
Perubahan iklim global dapat mempengaruhi kondisi lingkungan tempat hidupnya populasi. Variabilitas cuaca dan suhu dapat mempengaruhi reproduksi dan kelangsungan hidup individu dalam populasi (Parmesan, 2006).



Gambar 4.8. Perubahan iklim dan pemanasan global (Sumber: <https://www.ft.lk/columns/Global-warming-and-climate-change/4-731011>)

4.4.6 Predasi dan Prakondisi

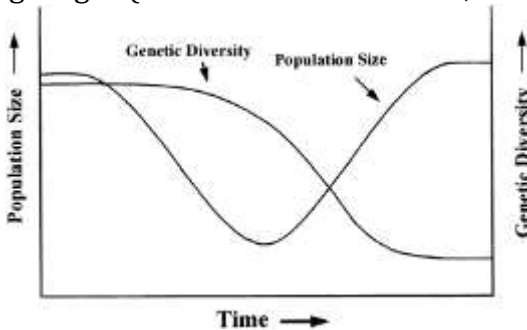
Tekanan predasi dan prakondisi seperti makanan, tempat berkembang biak, atau perlindungan dari pemangsa dapat berdampak signifikan pada kelangsungan hidup individu dan pertumbuhan populasi (Sinclair & Krebs, 2002).



Gambar 4.9. Skema ilustrasi predasi dan kaitannya dengan dinamika populasi (Sumber: Kappeler, 2021)

4.4.7 Keanekaragaman Genetik

Tingkat keanekaragaman genetik dalam populasi mempengaruhi kemampuan populasi untuk beradaptasi terhadap perubahan lingkungan. Populasi dengan keanekaragaman genetik yang rendah mungkin lebih rentan terhadap bencana dan perubahan lingkungan (Hedrick & Garcia-Dorado, 2016).



Gambar 4.10. Hubungan antara keanekaragaman genetik dan jumlah populasi. (Sumber:

<https://www.amap.no/documents/doc/relationship-between-genetic-diversity-and-population-numbers/245>)

4.4.8 Gangguan Manusia

Aktivitas manusia seperti perburuan berlebihan, deforestasi, dan polusi lingkungan dapat merusak populasi hewan dan tumbuhan. Upaya konservasi diperlukan untuk melindungi populasi yang terancam punah (Primack, 2014).



Gambar 4.11. Pencemaran udara dan sampah yang menggunung (sumber: <https://interestingengineering.com/lists/11-ways-humans-impact-the-environment>)

4.5 Jenis-jenis Dinamika Populasi

Studi dinamika populasi adalah elemen kunci dalam ilmu ekologi, yang memungkinkan kita untuk memahami bagaimana populasi berkembang, berubah, dan beradaptasi dalam lingkungan yang selalu berubah. Terdapat berbagai jenis dinamika populasi yang dapat diamati dalam berbagai konteks ekologis. Kita akan membahas beberapa jenis dinamika populasi beserta contoh-contoh yang relevan.

4.5.1 Dinamika Populasi Eksponensial

Dinamika populasi eksponensial terjadi ketika populasi tumbuh pada tingkat konstan yang proporsional terhadap ukuran populasi itu sendiri. Pertumbuhan populasi eksponensial biasanya digambarkan oleh model persamaan diferensial sederhana di mana laju pertumbuhan dinyatakan sebagai laju kelahiran minus laju kematian (May, 1973).

Contoh:

Populasi bakteri dalam kondisi ideal di laboratorium, di mana sumber daya dan ruang tidak terbatas.

4.5.2 Dinamika Populasi Logistik

Dinamika populasi logistik terjadi ketika populasi tumbuh eksponensial pada awalnya, tetapi kemudian mencapai batas daya dukung lingkungannya dan pertumbuhannya melambat hingga mencapai keseimbangan yang disebut carrying capacity (Verhulst, 1838).

Contoh:

Populasi hewan herbivora dalam ekosistem dengan sumber daya terbatas seperti padang rumput.

4.5.3 Dinamika Populasi Siklus

Dinamika populasi siklus menggambarkan fluktuasi dalam jumlah populasi secara teratur, di mana populasi naik dan turun dalam siklus berulang.

Contoh:

Populasi serangga pemangsa dan mangsanya, seperti lemming dan rubah dalam lingkungan Arktik.

4.5.4 Dinamika Populasi Irregular

Dinamika populasi tidak selalu mengikuti pola siklus atau eksponensial. Ada situasi di mana populasi mengalami fluktuasi yang tidak teratur tanpa pola yang jelas.

Contoh:

Populasi burung pemakan biji yang terpengaruh oleh faktor-faktor eksternal seperti perubahan cuaca yang tidak teratur.

4.5.5 Dinamika Populasi Terancam Punah

Populasi terancam punah adalah jenis dinamika populasi di mana jumlah individu dalam populasi terus menurun dan mendekati kepunahan. Hal ini sering dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti hilangnya habitat, perburuan ilegal, atau perubahan iklim.

Contoh:

Populasi spesies terancam punah seperti harimau Siberia yang jumlahnya terus menurun akibat perburuan ilegal dan perubahan habitat.

Adapun mempelajari jenis dinamika populasi lain berdasarkan konsep hewan dan tumbuhan dapat membantu kita memahami bagaimana populasi hewan dan tumbuhan berinteraksi dengan lingkungan mereka, bagaimana pertumbuhan populasi dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal dan internal, dan bagaimana kita dapat mengelola populasi ini dalam konteks konservasi dan pengelolaan sumber daya alam.

4.5.6 Dinamika Populasi Hewan

Dinamika populasi hewan adalah aspek ekologi yang mencakup perubahan dalam ukuran dan komposisi populasi hewan seiring waktu. Hal ini penting untuk memahami bagaimana populasi hewan berinteraksi dalam ekosistem dan bagaimana faktor-faktor ekologis mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan populasi tersebut. Beberapa konsep utama dalam dinamika populasi hewan meliputi pertumbuhan populasi, interaksi predator-mangsa, regulasi populasi, dan dampak perubahan habitat.

1. Pertumbuhan Populasi

Pertumbuhan populasi hewan mengacu pada perubahan dalam jumlah individu dalam populasi seiring waktu. Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan populasi meliputi tingkat kelahiran, tingkat kematian, dan imigrasi atau emigrasi. Pertumbuhan populasi yang positif terjadi saat laju kelahiran lebih tinggi daripada laju kematian. Model populasi seperti model Lotka-Volterra digunakan untuk memodelkan interaksi predator-mangsa yang mempengaruhi pertumbuhan populasi hewan (Smith et al., 2022).

2. Interaksi Predator-Mangsa

Interaksi predator-mangsa adalah elemen penting dalam dinamika populasi hewan. Predator memburu mangsa, yang dapat mengurangi jumlah individu mangsa dan mempengaruhi dinamika populasi. Hubungan ini sering dijelaskan dengan model Lotka-Volterra, yang memperhitungkan dampak predasi pada populasi mangsa dan predator. Penelitian terbaru mengungkapkan kompleksitas interaksi predator-mangsa, termasuk adanya perubahan perilaku dan strategi dalam respons terhadap tekanan predasi (Beckerman et al., 2019).

3. Regulasi Populasi

Regulasi populasi adalah proses di mana populasi hewan mengatur diri mereka sendiri melalui berbagai mekanisme. Ini menciptakan keseimbangan dinamis dalam populasi. Mekanisme regulasi termasuk kompetisi, predasi, dan sumber daya yang terbatas. Studi terbaru telah menunjukkan peran penting dari mekanisme regulasi dalam memahami bagaimana populasi hewan beradaptasi dengan perubahan lingkungan (McCann et al., 2020).

4. Dampak Perubahan Habitat

Perubahan habitat adalah salah satu faktor eksternal yang dapat mempengaruhi dinamika populasi hewan. Hilangnya habitat alami, deforestasi, dan perubahan iklim dapat mengurangi ketersediaan habitat dan sumber daya, yang pada gilirannya mempengaruhi populasi hewan. Studi terbaru telah menyoroti urgensi perlindungan dan pemulihan habitat alami

untuk menjaga keberlanjutan populasi hewan (Pike et al., 2021).

4.5.7 Dinamika Populasi Tumbuhan

Dinamika populasi tumbuhan adalah cabang ekologi yang mempelajari perubahan dalam ukuran dan komposisi populasi tumbuhan dalam ekosistem. Hal ini penting untuk memahami perubahan dalam komunitas tumbuhan, suksesi ekologis, dan adaptasi tumbuhan terhadap perubahan lingkungan. Beberapa konsep utama dalam dinamika populasi tumbuhan meliputi suksesi tumbuhan, kompetisi tumbuhan, dan perubahan iklim.

1. Reproduksi dan Penyebaran Biji

Reproduksi adalah elemen utama dalam dinamika populasi tumbuhan. Tumbuhan berkembang biak melalui berbagai cara, termasuk penyerbukan, pembentukan biji, dan penyebaran biji. Reproduksi yang sukses dan efisien penting untuk pertumbuhan populasi yang berkelanjutan (Dornelas, 2018).

2. Kompetisi Intraspesifik dan Interspesifik

Kompetisi antara individu-individu tumbuhan dalam spesies yang sama (kompetisi intraspesifik) dan antara spesies berbeda (kompetisi interspesifik) mempengaruhi dinamika populasi tumbuhan. Keterbatasan sumber daya seperti cahaya, air, dan nutrisi dapat memicu kompetisi ini (Mayfield & Levine, 2010).

3. Hubungan Simbiotik

Tumbuhan sering membentuk hubungan simbiotik dengan mikroorganisme seperti mikoriza (yang membantu penyerapan nutrisi) dan bakteri nitrogen (yang membantu memfiksasi nitrogen dari udara). Hubungan ini mempengaruhi kesehatan dan produktivitas tumbuhan (van der Heijden, 2015).

4. Kebakaran dan Gangguan Ekologis

Faktor eksternal seperti kebakaran dan gangguan ekologis mempengaruhi dinamika populasi tumbuhan. Beberapa tumbuhan tergantung pada kebakaran periodik untuk regenerasi, sementara yang lain mungkin rentan terhadap gangguan lingkungan yang merusak (Pausas & Keeley, 2019).

5. Konservasi Tumbuhan Endemik

Tumbuhan endemik, yang hanya ditemukan di wilayah tertentu, sering memerlukan perhatian khusus dalam upaya konservasi. Studi tentang dinamika populasi tumbuhan endemik membantu dalam pengembangan strategi untuk melindungi dan mempertahankan spesies-spesies ini (Walther et al., 2021).

6. Perubahan Iklim dan Fenologi Tumbuhan

Perubahan iklim, termasuk peningkatan suhu global, dapat mempengaruhi fenologi tumbuhan, yaitu pola perkembangan dan aktivitas tumbuhan sepanjang tahun. Perubahan ini mencakup waktu berbunga, daun gugur, dan siklus hidup tumbuhan (Wolkovich et al., 2012).

7. Konservasi Keanekaragaman Tumbuhan

Upaya konservasi keanekaragaman tumbuhan melibatkan pemahaman tentang distribusi dan kesehatan populasi tumbuhan serta upaya untuk melindungi habitat alami dan mengurangi ancaman manusia terhadap populasi tumbuhan (Brummitt et al., 2015).

Berbagai jenis dinamika populasi mencerminkan kompleksitas interaksi di alam dan memiliki dampak yang signifikan dalam pengelolaan sumber daya alam, konservasi, dan pemahaman lebih dalam tentang ekosistem. Studi tentang dinamika populasi telah membantu ilmu ekologi berkembang seiring berjalannya waktu dan merupakan elemen kunci dalam menjaga keseimbangan alam.

4.6 Upaya Pelestarian Hewan dan Tumbuhan dalam Hubungannya dengan Dinamika Populasi

Upaya pelestarian hewan dan tumbuhan memiliki peran penting dalam menjaga keanekaragaman hayati dan menjaga keseimbangan ekosistem. Hubungan antara pelestarian dan dinamika populasi hewan dan tumbuhan sangat erat, karena upaya pelestarian seringkali berfokus pada memahami, melindungi, dan memulihkan populasi yang terancam atau rentan. Berikut adalah ikhtisar upaya pelestarian hewan dan tumbuhan dalam hubungannya dengan dinamika populasi, antara lain:

4.6.1 Pelestarian Hewan Terancam Punah

Dalam upaya melestarikan spesies terancam punah, program konservasi dan reintroduksi telah menjadi lebih canggih. Penelitian dan pemahaman yang lebih baik tentang dinamika populasi hewan membantu dalam merencanakan strategi yang lebih efektif (Williams et al., 2021). Salah satu fokus utama pelestarian adalah melindungi hewan-hewan terancam punah. Banyak spesies hewan di seluruh dunia menghadapi tekanan eksternal yang mengancam kelangsungan hidup mereka, seperti hilangnya habitat, perburuan ilegal, dan perubahan iklim. Upaya pelestarian bertujuan untuk memahami dinamika populasi hewan ini dan mengambil tindakan yang diperlukan untuk menjaga populasi mereka (Di Minin et al., 2016).

4.6.2 Konservasi Tumbuhan Endemik

Tumbuhan endemik, yang hanya ditemukan di wilayah tertentu, sering menjadi fokus utama pelestarian tumbuhan. Langkah-langkah pelestarian tumbuhan endemik mencakup pemahaman dinamika populasi mereka, pemulihan habitat alami, dan upaya penghentian eksploitasi manusia yang merusak (Walther et al., 2021).

4.6.3 Pelestarian Habitat Alami

Salah satu elemen penting dalam pelestarian adalah menjaga habitat alami tempat hewan dan tumbuhan hidup. Habitat yang terjaga dengan baik membantu mendukung dinamika populasi yang sehat. Upaya konservasi berfokus pada melindungi dan memulihkan habitat ini (Foley et al., 2005).

4.6.4 Mengurangi Ancaman Manusia

Kegiatan manusia sering menjadi ancaman serius terhadap hewan dan tumbuhan. Perburuan ilegal, perdagangan hewan liar, perusakan habitat, dan perubahan iklim adalah beberapa ancaman utama. Upaya pelestarian termasuk mengurangi atau mengatasi ancaman ini untuk memastikan kelangsungan hidup populasi (Ripple et al., 2017).

4.6.5 Peran Teknologi dalam Pelestarian

Teknologi modern, seperti pemantauan satelit, jaringan sensor, dan analisis data besar, telah memainkan peran penting dalam pemahaman dan pelestarian populasi hewan dan tumbuhan. Teknologi ini memungkinkan para peneliti untuk memantau perubahan dalam populasi dengan lebih akurat (Pettorelli et al., 2014).

4.6.6 Restorasi Ekosistem

Selain menjaga populasi hewan dan tumbuhan yang ada, upaya pelestarian juga termasuk restorasi ekosistem yang rusak. Restorasi ekosistem berfokus pada mengembalikan habitat yang telah mengalami kerusakan, sehingga populasi tumbuhan dan hewan dapat pulih dan berkembang kembali (Suding et al., 2015).

4.6.7 Keterlibatan Masyarakat

Konservasi hewan dan tumbuhan sering melibatkan partisipasi aktif masyarakat lokal dan organisasi konservasi. Keterlibatan masyarakat penting dalam pemantauan, pendidikan, dan perlindungan populasi hewan dan tumbuhan (Chan et al., 2007).

Upaya pelestarian hewan dan tumbuhan menjadi semakin penting dalam menghadapi tantangan lingkungan global. Kerja sama antara ilmuwan, pemerintah, organisasi konservasi, dan masyarakat adalah kunci dalam menjaga dinamika populasi hewan dan tumbuhan yang sehat dan kelangsungan ekosistem kita.

DAFTAR PUSTAKA

- Arditi, R., & Ginzburg, L. R. 2012. "How Species Interact: Altering the Standard View on Trophic Ecology." Oxford University Press.
- Barreiro-Gomez, J., Obando, G., & Quijano, N. 2016. Distributed population dynamics: Optimization and control applications. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 47(2), 304-314.
- Beckerman, A. P., Petchey, O. L., & Warren, P. H. 2019. "Foraging Behavior and Prey Defense Mechanisms Modify the Consequences of Predator-Prey Interactions in an Aquatic Ecosystem." *The American Naturalist*, 193(1), 116-127.
- Begon, M., Townsend, C. R., Harper, J. L. 2006. "Ecology: From Individuals to Ecosystems." Wiley-Blackwell.
- Berryman, A. A. 1999. Principles of population dynamics and their application. Taylor & Francis: New York.
- Brummitt, N. A., Bachman, S. P., Griffiths-Lee, J., Lutz, M., Moat, J. F., Farjon, A., ... & Nic Lughadha, E. M. 2015. "Green plants in the red: A baseline global assessment for the IUCN sampled Red List Index for plants." *PloS One*, 10(8), e0135152.
- Caughley, G. 1994. "Directions in Conservation Biology." *Journal of Animal Ecology*, 63(2), 215-244.
- Chan, K. M. A., Pringle, R. M., Ranganathan, J., Boggs, C. L., Chan, Y. L., Ehrlich, P. R., ... & Pimm, S. L. 2007. "When agendas collide: human welfare and biological conservation." *Conservation Biology*, 21(1), 59-68.
- Charlesworth, B. 2009. "Fundamental concepts in genetics: Effective population size and patterns of molecular evolution and variation." *Nature Reviews Genetics*, 10(3), 195-205.
- Charlesworth, B., & Charlesworth, D. 2010. Elements of evolutionary genetics (Vol. 42, p. 43). Greenwood Village, CO: Roberts and Company Publishers.
- Di Minin, E., Slot, M., Hunter, L. T. B., Montesino Pouzols, F., Toivonen, T., Verburg, P. H., ... & Moilanen, A. 2016. "Global priorities for an effective information basis of biodiversity distributions." *Nature Communications*, 7, 12559.

- Dornelas, M., Antão, L. H., Moyes, F., Bates, A. E., Magurran, A. E., & Adam, D. (2018). "BioTIME: A database of biodiversity time series for the Anthropocene." *Global Ecology and Biogeography*, 27(7), 760-786.
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., ... & Helkowski, J. H. (2005). "Global consequences of land use." *Science*, 309(5734), 570-574.
- Fretwell, S.D., 2020. *Populations in a Seasonal Environment*. (MPB-5) (Vol. 106). Princeton University Press.
- Hartl, D. L., & Clark, A. G. (2007). "Principles of Population Genetics." Sinauer Associates.
- Henriques, R. P., & Hay, J. D. (2002). Patterns and dynamics of plant populations. In *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna* (pp. 140-158). Columbia University Press.
- Hutchinson, G. E. (1947). "Concluding Remarks." *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22, 415-427.
- Hutchinson, G. E. (1959). "Homage to Santa Rosalia or why are there so many kinds of animals?" *The American Naturalist*, 93(870), 145-159.
- Kappeler, P.M. (2021). Predation. In: *Animal Behaviour*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82879-0_7
- Krebs, C. J. (2014). "Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance." Pearson.
- Krebs, C. J., & Myers, J. H. (1974). "Population Cycles in Small Mammals." *Advances in Ecological Research*, 8, 267-399.
- Lande, R., Engen, S., & Saether, B. E. (2003). *Stochastic population dynamics in ecology and conservation*. Oxford University Press, USA.
- Lotka, A. J. (1920). "Analytical note on certain rhythmic relations in organic systems." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 6(7), 410-415.
- Lotka, A. J. (1925). "Elements of Physical Biology." Williams & Wilkins.
- May, R. M. (1973). "Stability and Complexity in Model Ecosystems." Princeton University Press.

- Mayfield, M. M., & Levine, J. M. (2010). "Opposing effects of competitive exclusion on the phylogenetic structure of communities." *Ecology Letters*, 13(9), 1085-1093.
- McCann, K. S., Morris, R. J., Allen, A. P., & Fink, D. (2020). "Conserving the Biodiversity and Abundance of Top Predators: Coexistence or Reproductive Technology." *Trends in Ecology & Evolution*, 35(1), 1-2.
- Nicholson, A. J. (1954). "An outline of the dynamics of animal populations." *Australian Journal of Zoology*, 2(1), 9-65.
- Nicholson, A. J., & Bailey, V. A. (1935). "The balance of animal populations." *Proceedings of the Zoological Society of London*, 1935(3), 551-598.
- Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2019). "A burning story: The role of fire in the history of life." *BioScience*, 69(11), 949-957.
- Pike, B. A., de Souza, M. S., Darroch, L. J., & Smith, F. A. (2021). "Terrestrial Habitat Restoration Can Support Conservation of Invertebrate Diversity." *Global Change Biology*, 27(4), 700-710.
- Ripple, W. J., Wolf, C., Newsome, T. M., Galetti, M., Alamgir, M., Crist, E., ... & Laurance, W. F. (2017). "World scientists' warning to humanity: A second notice." *BioScience*, 67(12), 1026-1028.
- Schiel, D. R., & Foster, M. S. (2006). The population biology of large brown seaweeds: ecological consequences of multiphase life histories in dynamic coastal environments. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 37, 343-372.
- Smith, J. M., Johnson, T. H., & Smith, M. J. (2022). "Population Dynamics and Ecological Interactions: The Lotka-Volterra Model Revisited." *The American Naturalist*, 200(2), 132-142.
- Suding, K. N., Higgs, E., Palmer, M., Callicott, J. B., Anderson, C. B., Baker, M., ... & Larson, B. M. H. (2015). "Committing to ecological restoration." *Science*, 348(6235), 638-640.
- van der Heijden, M. G. A., Martin, F. M., Selosse, M. A., & Sanders, I. R. (2015). "Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future." *New Phytologist*, 205(4), 1406-1423.

- Verhulst, P. F. (1838). "Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement." *Correspondance Mathématique et Physique*, 10, 113-121.
- Volterra, V. (1926). "Fluctuations in the abundance of a species considered mathematically." *Nature*, 118, 558-560.
- Volterra, V. (1928). "Variations and fluctuations of the number of individuals in animal species living together." *Journal of the Council for Scientific and Industrial Research*, 1, 231-251.
- Walther, B. A., Hebda, M., Maurizio, A., Kessler, M., Acevedo, R., Acevedo, M., ... & Vélchez-Alvarado, B. (2021). "Conservation of the narrow endemic Pacific Mangroves (*Pelliciera rhizophorae*), Costa Rica." *Oryx*, 1-8.
- Walther, B. A., Hebda, M., Maurizio, A., Kessler, M., Acevedo, R., Acevedo, M., ... & Vélchez-Alvarado, B. (2021). "Conservation of the narrow endemic Pacific Mangroves (*Pelliciera rhizophorae*), Costa Rica." *Oryx*, 1-8.
- Williams, S. T., Williams, K. S., Lewis, B. P., & Hill, R. A. (2017). Population dynamics and threats to an apex predator outside protected areas: implications for carnivore management. *Royal Society Open Science*, 4(4), 161090.
- Wolkovich, E. M., Cook, B. I., Allen, J. M., Crimmins, T. M., Betancourt, J. L., Travers, S. E., ... & Cleland, E. E. (2012). "Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change." *Nature*, 485(7399), 494-497.

BAB 5

KEANEKARAGAMAN HAYATI

Oleh Anita Hakim

5.1 Konsep Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati atau biasa juga disebut biodiversitas diartikan sebagai macam tumbuhan, hewan, dan juga mikroorganisme yang mencakup ukuran dan variasi pada tingkatan genetik, spesies, dan ekosistem. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi keanekaragaman hayati adalah kondisi iklim, hal lainnya adalah kromosom, gen, dan DNA yang dapat menentukan keunikan setiap individu. Sebaran kekayaan hayati sangat dipengaruhi oleh faktor iklim, hal tersebut menyebabkan tidak meratanya penyebaran tiap spesies yang ada di bumi. Ekosistem tropis hanya meliputi sekitar 10% permukaan bumi namun memiliki variasi kekayaan hayati yang paling dominan. Sekitar 90% spesies di bumi berada pada ekosistem hutan hujan tropis (Ariana, 2019). Luas wilayah daratan Indonesia adalah 1,3% dari daratan yang ada di Bumi, namun demikian, Indonesia menyumbang 25% spesies makhluk hidup yang ada di bumi. (Sukara and Tobing, 2008)

Mahluk hidup lainnya berdasarkan tingkah laku dan interaksinya juga dapat berperan dalam terbentuknya ekosistem berdasarkan interaksinya dengan lingkungan, seperti udara, air, dan tanah di wilayahnya. Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki lanskap yang beragam dan ekosistem yang bervariasi, meliputi wilayah hutan hujan tropis, hutan bakau, padang rumput, wilayah pantai, savanna, perairan laut, air tawar, dan ekosistem lain yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Setiap ekosistem tersebut memiliki variasi kekayaan hayati yang unik dan menjadi rumah bagi berbagai macam spesies. (Ridhwan, 2012)

Keragaman hayati memiliki pengaruh besar terhadap keberlangsungan hidup di muka bumi, contohnya dalam bidang pangan, ekonomi, ekologi, IPTEK, serta sosial budaya. Kebutuhan akan sumber daya alam memancing manusia untuk terus

melakukan eksplorasi terhadap keaneka ragaman hayati, dari sisi kebermanfaatannya, manusia diuntungkan dalam hal ini, bahwa alam telah menyediakan sumber daya yang begitu banyak dan beragam untuk di manfaatkan, terlebih jika manusia bijak dalam pengelolaannya, sebaliknya justru akan merusak dan bahkan menghilangkan suatu spesies tertentu jika tidak melakukan pemanfaatan secara bijak. Adapun upaya dalam mencegah punahnya keberagaman suatu spesies adalah melakukan konservasi baik secara mandiri maupun yang dilakukan oleh pemerintah.

5.2 Keanekaragaman Tingkat Genetik

Gen adalah materi genetik yang terbentuk dari susunan DNA (*Deoxyribonucleic Acid*) pada kromosom yang mewariskan sifat genetik orang tua kepada keturunannya (Ariana, 2019). Keanekaragaman tingkat gen dapat diartikan sebagai adanya beberapa jenis variasi pada satu spesies tertentu, yang dapat mengakibatkan adanya variasi antar individu sejenis, hal ini dapat menyebabkan adanya perbedaan genotip (sipat) dan fenotip (tampakan luar), contohnya perbedaan warna bulu, bentuk badan, ukuran badan.

Keragaman tingkat gen dapat dijumpai pada berbagai mahluk hidup di bumi, baik pada manusia, hewan dan tumbuhan. Secara umum keanekaragaman hayati disebabkan oleh aliran gen, mutasi, rekombinasi, atau persilangan. Keragaman gen yang terjadi secara persilangan dapat dijumpai pada tanaman mawar yang berwarna putih dan merah, dapat mewariskan bunga mawar yang berbeda dari induknya.

5.2.1 Variasi Kromosom

Kromosom adalah struktur yang terdapat pada sel berupa serangkaian nukleoprotein berisi informasi mengenai karakteristik fisik dan materi genetik yang meregulasi aktivitas sel. Setiap spesies memiliki jumlah kromosom yang spesifik. Variasi kromosom disebabkan oleh perubahan set kromosom baik secara alami maupun artifisial berupa pengurangan atau penambahan jumlah kromosom. Perubahan set kromosom dapat terjadi secara menyeluruh (euploidi) maupun parsial (aneroploidi). Contoh variasi

kromosom, dapat kita jumpai pada tanaman jeruk (*citrus sp.*) dalam familia *rutaceae* yang banyak terdapat di Indonesia (Aziz, 2020).

5.2.2 Variasi Morfologi

Variasi morfologi hayati di Indonesia, salah satunya dapat kita jumpai pada buah atau tanaman mangga (*mangifera indica*) dalam familia *anacardiaceae* yang memiliki keragaman morfologi yang tinggi. Sebagai tanaman hortikultura buah mangga merupakan komoditas yang populer di Indonesia. Beberapa daerah menjadikan buah mangga sebagai komoditas utama bahkan ada yang menjadikan spesies mangga tertentu sebagai flora identitas atau maskot daerahnya (Hakim M. L. *et al.*, 2021).

Keragaman morfologi buah mangga dapat diidentifikasi dari warna, rasa, aroma, bentuk, ukuran, serat, kandungan air, bahkan bentuk pohon dan daun. Buah mangga merupakan tanaman yang memiliki potensi dan nilai ekonomis serta keragaman genetik yang sangat tinggi, namun dalam bidang pemuliaan tanaman, komoditas ini belum banyak dikembangkan. Kompleksitas paninkula dan bunga yang memiliki tingkat kesuksesan penyerbukan yang rendah, serta jumlah plasma nutfah yang sedikit menjadi masalah dalam pemuliaan tanaman mangga (Nilasari, Heddy and Wardiyati, 2013).

5.2.3 Variasi Tingkat Genetik

Variasi tingkat genetik dipengaruhi oleh variasi kromosom dan variasi morfologi. Salah satu contoh keragaman genetik pada tumbuhan adalah pada genus *citrus* dalam familia *rutaceae* (suku jeruk-jerukan) yang tersebar di Indonesia, meliputi:

1. Citrus Amblycarpa;
2. Citrus Aurantium;
3. Citrus Aurantifolia;
4. Citus Floridana;
5. Citrus Hystrix;
6. Citrus Japonica;
7. Citrus Limon;
8. Citrus Lucida;
9. Citrus Maxima;
10. Citus Microcarpa;

- 11. Citrus Medica;
- 12. Citrus Nobilis;
- 13. Citus Paradisi;
- 14. Citus Reticulata;
- 15. Citrus Sinensis;
- 16. Citrus Suhunensis

Tabel 5.1. Variasi tingkat genetik genus *citrus* familia *rutaceae* (suku jeruk-jerukan) dan sebarannya di Indonesia

No.	Spesies	Nama sebutan	Genus	Familia	Lokasi sebaran
1.	Citrus Amblycarpa	Limau	Citrus	Rutaceae	Madura, Jawa
2.	Citrus Aurantium	Jeruk Nipis			Madura, Jawa
3.	Citrus Aurantifolia	Jeruk Nipis			Maluku, Jawa, NTT, Sumatera, Kalimantan
4.	Citrus Floridana	Jeruk Soto			Madura
5.	Citrus Hystrix	Jeruk Purut			Madura, Jawa, Sumatera, Kalimantan
6.	Citrus Japonica	Jeruk Kumquat			Sumatera
7.	Citrus Limon	Jeruk Limon			Madura, Jawa
8.	Citrus Lucida	Jeruk Kawista-krikil			Madura
9.	Citrus Maxima	Jeruk Bali/ Pamelo			Madura, Maluku, Kalimantan, Jawa, Sulawesi,

No.	Spesies	Nama sebutan	Genus	Familia	Lokasi sebaran
					Sumatera
10.	Citrus Microcarpa	Jeruk Kalamansi			Madura, Sumatera
11.	Citrus Medica	Sitrun, Jeruk Bayi			Jawa, Sumatera
12.	Citrus Nobilis	Jeruk Siam			Sumatera, Jawa, Kalimantan, Bali
13.	Citrus Paradisi	Jeruk Grapefruit, Citrumelo			Jawa
14.	Citrus Reticulata	Jeruk Keprok, Jeruk Mandarin			Madura, Maluku, Kalimantan, Sumatera, Jawa, Bali
15.	Citrus Sinensis	Jeruk Manis, Mains Puntan			Maluku, Jawa, Sumatera
16.	Citrus Suhunensis	Jeruk Santang			Jawa

Sumber: (Aziz, 2020)

5.3 Keanekaragaman Tingkat Spesies

Keanekaragaman tingkat spesies pada hewan, terdapat pada ikan endemik pada perairan air tawar sulawesi selatan, yaitu ikan medaka dari genus *Oryzias*, diantaranya *Oryzias celebensis* (Hasanah, Andy Omar and Tresnati, 2022). Contoh lain keanekaragaman tingkat spesies pada serangga kupu-kupu yang terdapat pada kawasan Taman Nasional Bantimurung-Bulusaraung (TN-BaBul). Kawasan yang saat ini dikenal sebagai TN-BaBul pertama kali diperkenalkan sebagai The Kingdom of Butterfly oleh seorang

naturalis asal Britania Raya yaitu Alfred Russel Wallace, julukan ini diberikan karena kekagumannya akan keindahan dan begitu banyaknya spesies kupu-kupu di kawasan ini yang beberapa diantaranya merupakan spesies endemik yang sebarannya tidak ditemukan di daerah lain.

Papilio blumei adalah salah satu dari 250 lebih spesies kupu-kupu yang mendiami kerajaan kupu-kupu pada kawasan TN-BaBul. Kupu-kupu endemik pulau Sulawesi ini termasuk dalam keluarga Papilionidae dan terdiri dari 2 sub spesies yaitu *Papilio Blumei* *Blumei* yang terdapat di Sulawesi Utara dan *Papilio Blumei* *Fruhstorferi* di Sulawesi Selatan. Selain *Papilio Blumei*, ada beberapa spesies kupu-kupu yang termasuk dalam familia Papilionidae di TN-BaBul, diataranya *Papilio Sataspes*, *Papilio Peranthus Adamantius*, *Papilio Gigon*, *Papilio Ascalaphus*, *Pachliopta Polyphontes*, *Lamproptera Meges Akirai*, *Graphium Androcles* dan *Graphium Milon*.



Gambar 5.1. Kupu-kupu pada TN-BaBul.

Sumber : <https://ksdae.menlhk.go.id/info/971/The-Kingdom-Of-Butterfly.html>

5.4 Keanekaragaman Tingkat Ekosistem

Keanekaragaman tingkat ekosistem dapat disebabkan oleh variasi interaksi antar makhluk hidup dengan lingkungannya, hal ini dapat menghasilkan kondisi lingkungan yang berbeda dengan lingkungan lainnya, hal lain yang dapat menyebabkan variasi lainnya adalah kondisi iklim yang dipengaruhi oleh letak geografis, hal ini dapat menyebabkan kondisi iklim berbeda dengan daerah lain, dan akan menghasilkan perbedaan terhadap individu yang menempati kawasan tersebut.

5.5 Manfaat Keanekaragaman Hayati

Lingkungan menyediakan sumber pangan bagi manusia yang dibutuhkan untuk menjamin energi yang dibutuhkan untuk melakukan aktifitas sehari-hari, sumber energi dapat di temukan baik berupa tumbuh-tumbuhan maupun hewan, selain dijadikan sebagai sumber pangan, keanekaragaman hayati juga dapat digunakan sebagai kebutuhan sandang contohnya pemanfaatan ulat sutera dalam pembuatan kain sutera (Ridhwan, 2012). Berikut di uraikan berbagai manfaat keanekaragaman hayati pada bidang ekonomi, bidang ekologi, bidang IPTEK, dan manfaat keanekaragaman hayati bidang sosial dan budaya.

5.5.1 Manfaat Keanekaragaman Hayati di bidang ekonomi

Keanekaragaman hayati memiliki manfaat dan pengaruh yang sangat besar dalam bidang ekonomi, keanekaragaman hayati dapat menjadi komoditas ekonomi dan sumber pendapatan bagi mayoritas masyarakat Indonesia, contohnya pada daerah pesisir laut, masyarakat memanfaatkan jenis spesies dari Ikan, rumput Laut, udang, dan hasil laut lainnya yang bernilai ekonomis, pada daerah persawahan dan perkebunan, manusia memanfaatkan berbagai macam tanaman seperti padi, jagung, dan tanaman serealia lainnya, umbi-umbian, kacang-kacangan, sayur mayur, serta tumbuhan buah lainnya. Kondisi ekonomi yang di hadapi suatu negara juga dapat dipengaruhi oleh keanekaragaman hayati yang terdapat pada wilayahnya, jika tingkat keberlimpahan keanekaragaman hayati cukup banyak, maka akan menjadi faktor untuk melakukan perputaran ekonomi pada saat masyarakat menjual hasil panen melalui perdagangan, baik di pasar tradisional

mupun di swalayan yang ada di berbagai wilayah. Indonesia sebagai negara agraria dengan keanekaragaman hayati yang melimpah adalah salah satu negara yang banyak di jumpai tumbuhan yang bernilai ekonomi (Anggraini, 2018)

Daerah yang memiliki daya tarik wisatawan, dapat dimanfaatkan untuk dijadikan sebagai tempat wisata, umumnya pada daerah yang sejuk, seperti daerah pegunungan, hal tersebut dapat mengundang para wisatawan untuk melakukan kunjungan ke tempat tersebut, jika dikelola dengan baik, secara tidak langsung dapat menambah pendapatan suatu daerah. Adapun pemanfaatan yang lainnya adalah pembuatan produk kerajinan yang bersumber dari keanekaragaman hayati di tingkat spesies, seperti kayu jati, bambu, cocor bebek, dan jerami, bahan baku tersebut jika diolah secara optimal oleh tangan-tangan kreatif dapat menghasilkan sebuah karya kerajinan tangan yang dapat bernilai ekonomis. Kemampuan ekspor suatu negara juga dipengaruhi oleh keanekaragaman hayati yang tidak merata penyebarannya di muka bumi, maka hal tersebut dapat menjadi faktor pertukaran nilai untuk negeri lainnya. Rempah merupakan salah satu komoditas yang berasal dari Indonesia dan terkenal sebagai bahan baku obat-obatan, kosmetik yang menjadi komoditas ekspor ke berbagai negara lain, hal tersebut dapat bernilai ekonomis dan menambah devisa negara (Siboro, 2019).

5.5.2 Manfaat Keanekaragaman Hayati di Bidang Ekologi

Manusia sebagai aktor utama dalam pemanfaatan sumber daya hayati di bumi, juga sebagai pengendali dalam laju pemanfaatan sumber daya alam, salah satunya adalah pembangunan jangka pendek dapat berdampak buruk bagi ekologi dan lingkungan hidup, hal inilah yang harus menjadi dasar bagi manusia dalam memahami pengelolaan sumber daya hayati di muka bumi agar tidak mengancam kelangsungan ekosistem serta dapat diubah menjadi kegiatan yang dapat memperkaya sumber daya alam (Utina and Wahyuni, 2019).

5.5.3 Manfaat Keanekaragaman Hayati di Bidang IPTEK

Pemanfaatan keanekaragaman hayati memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, ada banyak kajian dan literatur yang dihasilkan melalui pengamatan dan penelitian mengenai keanekaragaman hayati, salah satunya yakni dapat mengenal dan mempelajari pelestarian lingkungan, bahkan fluktuasi atau perubahan jumlah individu yang terdapat di alam (Kartono, 2013). Pada bidang lain, penelitian terhadap keanekaragaman hayati juga memberikan dampak signifikan pada perkembangan ilmu pengetahuan dalam bidang kefarmasian. Berbagai penelitian dilakukan untuk menghasilkan produk farmasi atau obat-obatan yang bahan utamanya diperoleh dari alam.

5.5.4 Manfaat Keanekaragaman Hayati di Bidang Sosial dan Budaya

Keanekaragaman hayati di suatu daerah memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap nilai-nilai sosial dan budaya masyarakatnya. Kajian ilmiah mengenai aspek sosio-kultural masyarakat yang terintegrasi dengan keanekaragaman hayati meliputi tumbuhan (botani) dan hewan (zoologi) dalam sistem ekologi disebut etnobiologi. Pengaruh keanekaragaman hayati yang terinternalisasi dalam sistem sosial dan budaya di berbagai wilayah di Indonesia yang tercermin dari kepercayaan, ritual, kesenian, tradisi, bahkan bahasa lokal (Iskandar, 2017)

Bentuk konkret pengaruh keanekaragaman hayati dalam sistem sosial dan budaya masyarakat, dapat dilihat dari tradisi pesta panen di berbagai daerah. Beberapa daerah menggunakan hewan tertentu sebagai bagian dari tradisi, ritual atau upacara adat, misalnya di Tana Toraja yang menggunakan kerbau dan babi dalam upacara adat rambu solok. Suku Bugis-Makassar memanfaatkan beras dan rempah-rempah tertentu untuk membuat *Bedda lotong* yang telah dimanfaatkan secara turun temurun, dan biasanya digunakan oleh calon mempelai perempuan pada suku ini (Ridhwan, 2012), contoh lain pemanfaatan keanekaragaman hayati bidang sosial dan budaya terdapat pada suku Tolaki dari provinsi Sulawesi tenggara yakni menggunakan *Kalosara*, merupakan alat

pengesah dalam sebuah pernikahan yang meliputi berbagai jenis tumbuhan terdiri dari daun sirih, rotan, dan buah pinang (Ramadhani, Munir and Samai, 2023)

Pemanfaatan potensi kekayaan hayati di suatu daerah dalam sistem sosial dan budaya yang dibarengi dengan upaya pelestarian dan pengembangan, memberikan peluang bagi masyarakat di daerah tersebut untuk mengembangkan komoditas unggulan sekaligus ciri khas yang dapat dimanfaatkan sebagai daya tarik pariwisata sehingga memberikan nilai tambah secara ekonomi kepada masyarakat.

5.6 Ancaman

Keunikan spesies yang tersebar di Indonesia merupakan hal yang menggembirakan, karena banyak dimanfaatkan di berbagai bidang, diantaranya bidang sosial, budaya, IPTEK, ekonomi, ekologi, dan lainnya, namun dalam pemanfaatannya terdapat juga ancaman jika dilakukan dengan tidak tepat, diantaranya perusakan alam hingga terjadi kepunahan suatu spesies. Ancaman yang terjadi pada spesies tertentu yakni perburuan dan perdagangan, kegiatan pertanian yang menggunakan bahan kimia berbahaya bagi kelangsungan hidup hewan dan tumbuhan, tindakan ini tidak hanya mengancam spesies itu saja, melainkan mengancam rusaknya suatu ekosistem yang didiami oleh spesies tersebut.

5.6.1 Jenis Hewan Terancam Punah

Beberapa hewan yang terancam punah adalah :

1. *Tarsius fuscus*, adalah satwa liar endemik Pulau Sulawesi yang berstatus dilindungi di kawasan TN-BaBul, satwa ini memiliki peran sebagai pengendali serangga dan secara langsung dapat menekan populasi serangga sehingga dapat membantu petani sekitar dalam menangani hama (Anggur, 2016).
2. *Macaca maura*, merupakan salah satu jenis primata yang dilindungi pada kawasan TN-BaBul. Pada tahun 1987 kera hitam endemik di pulau Sulawesi ini ditetapkan sebagai satwa yang berstatus terancam punah akibat perburuan liar dan pembukaan lahan pertanian pada kawasan hutan yang

- menyebabkan perusakan habitat, serta perdagangan bebas satwa liar marak terjadi. (Liana *et al.*, 2021)
3. *Macrochepalon maleo*, atau biasa disebut Maleo, jenis aves yang langka dan dilindungi merupakan fauna endemik pulau Sulawesi ancaman terhadap hewan ini adalah kurangnya sumber makanan yang tersedia pada habitat aslinya pada saat fase pengeraman telur yang mengharuskan burung maleo keluar dari kawasan hutan daerah konservasi untuk mencari makanan, hal ini dapat menjadi ancaman sebab manusia melakukan pemburuan terhadap satwa ini (Ridhwan, 2012).
 4. *Manis javanica*, trenggiling merupakan hewan yang diambang kepunahan, eksploitasi hutan, perdagangan ilegal, dan perburuan secara liar, dan anggapan masyarakat bahwa sisik dari trenggiling dapat menyembuhkan penyakit tertentu merupakan ancaman bagi satwa ini (Radhi, 2019).

5.6.2 Jenis Tumbuhan Terancam Punah

Beberapa tumbuhan yang terancam punah adalah :

1. *Anaphalis javanica* biasa disebut merupakan bunga yang langka dan endemik pada pegunungan tertentu, tumbuhan ini keberadaannya mulai berkurang, disebabkan oleh aktifitas manusia yakni mencabut dan memperjualbelikan tumbuhan ini, serta kurangnya penegakan hukum terhadap orang yang melanggar ketentuan tentang pengrusakan tumbuhan ini (Buthak and Alwi, 1990)
2. *Horsfieldia iryaghedhi* biasa disebut Cempaka selong, dan *Shorea selanica* biasa disebut Meranti, penurunan spesiesnya sampai di 90% selama 10 tahun terakhir, hal ini terjadi dikarenakan penurunan dari kualitas habitatnya (Sulistiani, Shofi'ah and Irawanto, 2020)

5.7 Konservasi Keanekaragaman Hayati

Menjaga keberlangsungan keanekaragaman hayati perlu dilakukan dengan upaya konservasi dan memperhatikan kondisi lingkungan yang kondusif untuk setiap spesies. Dengan melakukan

upaya konservasi terhadap suatu organisme, maka secara langsung juga telah melakukan upaya penyelamatan lingkungan

Ada dua upaya konservasi yang dapat dilakukan yaitu konservasi in situ yang diartikan sebagai upaya konservasi yang dilakukan dengan cara mengupayakan perlindungan suatu organisme pada habitat aslinya, konservasi ini meliputi konservasi wilayah suaka alam (Hidayat and Kayat, 2020). Konservasi eks situ diartikan sebagai kegiatan konservasi suatu organisme yang dilakukan di luar dari habitat aslinya konservasi ini biasanya dilakukan oleh lembaga-lembaga yang legal contoh konservasi eks situ seperti taman hutan raya, taman nasional, dan taman wisata alam.

Salah satu wilayah yang melakukan upaya konservasi terhadap keberlangsungan hidup spesies kupu-kupu yang ada di Sulawesi Selatan yaitu TN-BaBul tepatnya di Kabupaten Maros, merupakan habitat kupu-kupu di wilayah Sulawesi Selatan. Kawasan seluas kurang lebih 43.750 Hektar ini ditetapkan menjadi taman nasional melalui Surat Keputusan Menteri Kehutanan Nomor 398/Menhut-II/04 tanggal 18 Oktober 2004. Dalam kawasan ini terdapat beberapa kupu-kupu dilindungi yakni *Troides haliphron*, *Troides helena*, *Troides hypolitus*, *Cethosia myrina*.



Gambar 5.2. Spesies Kupu-kupu dilindungi pada TN-BaBul.

Sumber: (Putri, 2016)

Keberadaan manusia pada habitat asli kupu-kupu sebenarnya dapat menjadi ancaman, sebab pada dasarnya kupu-kupu adalah serangga yang cukup peka terhadap berbagai bentuk gangguan termasuk dari manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, W. 2018. 'Keanekaragaman Hayati Dalam Menunjang Perekonomian Masyarakat Kabupaten Oku Timur', *Jurnal AKTUAL*, 16(2), p. 99. Available at: <https://doi.org/10.47232/aktual.v16i2.24>.
- Anggur, B.A.S. 2016. 'Implementasi Convention on International Trade in', 2(4), pp. 197–203.
- Ariana, R. 2019. *Spesies Kunci Ekologi*.
- Aziz, I.R. 2020. 'Variasi Kromosom Familia Rutaceae Di Indonesia', *Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi*, 14(1), pp. 115–127. Available at: <https://doi.org/10.24252/teknosains.v14i1.13328>.
- Buthak, G. and Alwi, M.A. 1990. 'No Title', pp. 4866–4878.
- Hakim M. L. *et al.* 2021. 'Variasi morfologi mangga Wirasangka (Mangifera indica var. Wirasangka) sebagai flora identitas Kabupaten Tegal', *Prosiding Semnas Biologi Tahun 2021 FMIPA UNS*, pp. 29–34.
- Hasanah, N., Andy Omar, S. Bin and Tresnati, J. 2022. 'Sex Ratio of Endemic Ricefish *Oryzias celebensis* in South Sulawesi', *Jurnal Ilmiah AgriSains*, 23(2), pp. 60–66. Available at: <https://doi.org/10.22487/jiagrisains.v23i2.2022.60-66>.
- Hidayat, O. and Kayat, K. 2020. 'PENDEKATAN PREFERENSI HABITAT DALAM PENYUSUNAN STRATEGI KONSERVASI IN SITU KAKATUA SUMBA (*Cacatua sulphurea citrinocristata*, Fraser 1844)', *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 17(2), pp. 113–126. Available at: <https://doi.org/10.20886/jphka.2020.17.2.113-126>.
- Iskandar, J. 2017. 'Etnobiologi dan Keragaman Budaya di Indonesia', *Umbara*, 1(1), pp. 27–42. Available at: <https://doi.org/10.24198/umbara.v1i1.9602>.
- Kartono, A.P. 2013. 'Pelestarian keanekaragaman hayati di are', (November), pp. 1–8. Available at: <https://repository.unair.ac.id/40067/1/gdlhub-gdl-grey-2016-irawanbamb-40441-pg.03-14-p.pdf>.
- Liana *et al.* 2021. 'KOMPOSISI JENIS DAN STRUKTUR VEGETASI HABITAT MONYET HITAM DARE (*Macaca maura*

- Schinz, 1825) DI TAMAN WISATA ALAM LEJJA KABUPATEN SOPPENG', *Jurnal Penelitian Kehutanan Bonita*, 4(2), pp. 20–29.
- Nilasari, A., Heddy, S. and Wardiyati, T. 2013. 'Identifikasi Keragaman Morfologi Daun Mangga (*Mangifera indica* L.) Pada Tanaman Hasil Persilangan Antara Varietas Arumanis 143 Dengan Podang Urang Umur 2 Tahun', *Jurnal Produksi Tanaman*, 1(1), pp. 61–69.
- Putri, I.A. 2016. 'Pengaruh Aktivitas Pariwisata Terhadap Keragaman Jenis Dan Populasi Kupu-Kupu Di Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung', *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 13(2), pp. 101–118.
- Radhi, M. 2019. 'Perilaku Trenggiling (*Manis javanica*) Hewan Yang Hampir Punah', (December).
- Ramadhani, A.A., Munir, A. and Samai, S. 2023. 'Etnobotani Dalam Upacara Adat Pernikahan Suku Tolaki Kabupaten Konawe Sulawesi Tenggara', *Jurnal Educatio FKIP UNMA*, 9(2), pp. 472–477. Available at: <https://doi.org/10.31949/educatio.v9i2.4766>.
- Ridhwan, M. 2012. 'Tingkat Keanekaragaman Hayati dan Pemanfaatannya di Indonesia', *Jurnal Biology Education*, 1(1), pp. 1–17.
- Siboro, T.D. 2019. 'Manfaat keanekaragaman hayati terhadap lingkungan', *Jurnal Ilmiah Simantek*, 3(1), p. 1. Available at: <https://www.simantek.sciencemakarioz.org/index.php/JIK/article/download/36/36>.
- Sukara, E. and Tobing, I.S. 2008. 'INDUSTRI BERBASIS KEANEKARAGAMAN HAYATI; MASA DEPAN INDONESIA sumber daya alam hayati yang sangat', *Vis Vitalis*, 01(4), pp. 1–12.
- Sulistiani, E.S., Shofi'ah, H.H. and Irawanto, R. 2020. 'Inventarisasi dan Persebaran Tumbuhan Langka di Kebun Raya Purwodadi', *Seminar Nasional Biologi FMIPA UNM*, 8(8), pp. 186–195. Available at: <https://ojs.unm.ac.id/semnasbio/article/view/15303>.
- Utina, R. and Wahyuni, D. 2019. *Ekologi dan Lingkungan hidup*. Gorontalo.

BAB 6

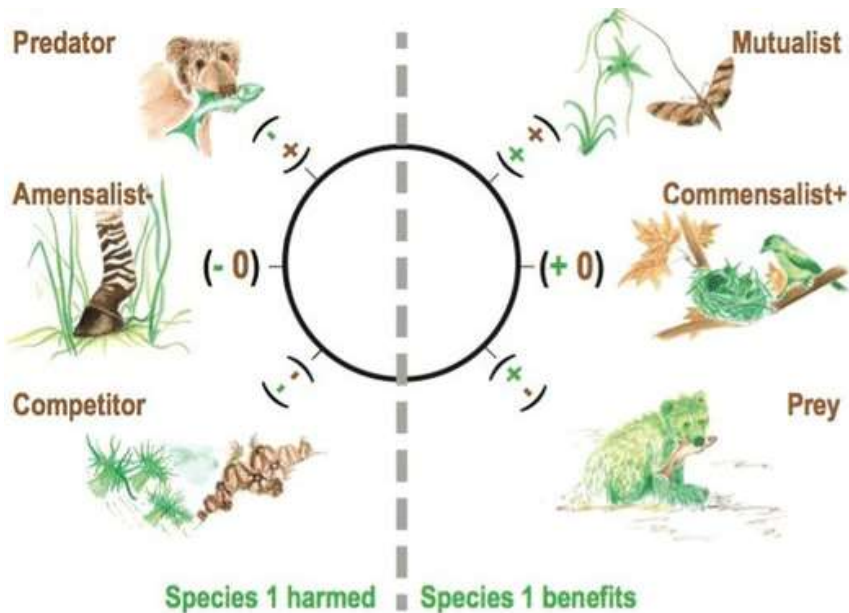
INTERAKSI ANTAR SPESIES

Oleh Muhammad Rifqi Hariri

6.1 Pendahuluan

Interaksi antara spesies, juga dikenal sebagai hubungan interspesifik, merupakan fenomena penting dalam ekologi. Hal ini merujuk pada interaksi yang terjadi antara individu atau populasi dari spesies yang berbeda. Interaksi ini memainkan peran penting dalam mempengaruhi keseimbangan ekosistem dan kelangsungan hidup banyak organisme.

Ada berbagai jenis interaksi antar spesies yang dapat terjadi. Beberapa interaksi yang paling umum termasuk predasi, kompetisi, mutualisme, parasitisme, dan komensalisme (Wisn et al., 2013). Setiap interaksi ini berbeda dalam cara mereka mempengaruhi populasi dan ekosistem di mana mereka terjadi (Gambar 6.1). Interaksi antara spesies secara umum penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Interaksi ini membantu mengatur populasi dan menjaga kelimpahan sumber daya secara efektif. Tanpa interaksi yang seimbang, populasi dapat mengalami penurunan drastis atau bertumbuh tanpa kendali, menyebabkan dampak negatif pada ekosistem yang lebih luas.



Gambar 6.1. Gambaran skematis interaksi antar spesies. Simbol pertama di dalam kurung menunjukkan pengaruh interaksi terhadap spesies pertama dan simbol kedua menunjukkan pengaruh interaksi terhadap spesies kedua.
(Sumber: Godsoe et al., 2017)

6.2 Predasi

Interaksi antar spesies dalam bentuk predasi adalah salah satu aspek yang sangat penting dalam ekosistem alam. Predasi terjadi ketika sebuah spesies yang lebih kuat, yang disebut predator, memangsa spesies yang lebih lemah, yang disebut mangsa (Coleman & Hill, 2014). Interaksi ini memiliki dampak yang signifikan terhadap populasi dan struktur komunitas dalam ekosistem.

Predasi memainkan peran penting dalam pengaturan populasi. Dalam ekosistem, predator bertindak sebagai regulator populasi mangsa. Mereka membantu menjaga keseimbangan dalam ekosistem dengan mengontrol jumlah mangsa. Misalnya, populasi serigala akan memburu dan memakan rusa di suatu daerah. Dalam hal ini, serigala berfungsi sebagai predator yang mengontrol populasi rusa. Dalam situasi di mana predator tak ada, populasi mangsa dapat tumbuh tanpa kendali, yang pada gilirannya dapat

menyebabkan perubahan yang signifikan dalam ekosistem tersebut (Wulff, 2017).

Predasi juga berperan dalam seleksi alam dan evolusi. Predator cenderung memangsa mangsa yang lemah atau rentan. Dalam jangka panjang, ini menyebabkan evolusi mangsa menjadi lebih kuat dan adaptif. Ini karena individu mangsa yang memiliki perlindungan diri yang lebih baik akan bertahan hidup dan berkembang biak lebih banyak (Treves et al., 2016). Seiring waktu, populasi mangsa akan mengembangkan fitur dan strategi pertahanan yang lebih efektif untuk menghindari predasi.

Selain itu, predasi juga membantu menjaga kesehatan dan keseimbangan ekosistem (Treves et al., 2016). Predator sering memangsa mangsa yang sakit, lemah, atau tua. Dengan membuang mangsa yang tidak sehat dari ekosistem, predator berkontribusi pada menjaga standar kualitas makanan yang diinginkan dalam populasi mangsa. Hal ini mencegah penyebaran penyakit dan menjaga populasi yang lebih sehat dan adaptif.

Namun, di sisi lain, predasi juga menyebabkan dampak negatif. Misalnya, jika predator yang terlalu banyak diburu atau terancam punah, populasi mangsa dapat meledak. Hal ini dapat berdampak buruk pada kelestarian lingkungan. Terlalu banyak mangsa dapat mengkonsumsi tanaman atau sumber daya lain yang dibutuhkan oleh organisme lain di ekosistem (Schmitz, 2017). Ini juga dapat menyebabkan perubahan besar dalam rantai makanan dan struktur komunitas di ekosistem.

Dalam beberapa kasus, predasi yang berlebihan dapat menyebabkan kepunahan spesies mangsa. Misalnya, dengan adanya depredasi berlebihan, beberapa spesies burung pemakan biji-bijian telah punah (Visco et al., 2015). Anak burung tidak mampu bertahan hidup saat koloni mereka dihancurkan oleh predator non-alami seperti kucing yang diperkenalkan oleh manusia.



Gambar 6.2. Predasi yang dilakukan oleh berunag terhadap ikan salmon
(Sumber: The New York Times, 2018)

6.3 Kompetisi

Interaksi antara spesies dalam bentuk kompetisi adalah fenomena yang umum terjadi di alam. Kompetisi dapat terjadi antara spesies yang berbeda (interspesifik) maupun antara anggota spesies yang sama (intraspesifik) (Tarjuelo et al., 2017). Dalam kompetisi, spesies-spesies tersebut bersaing untuk sumber daya yang terbatas seperti tempat tinggal, makanan, air, atau pasangan kawin. Interaksi ini sangat penting dalam mengatur populasi dan mempengaruhi dinamika ekosistem.

Dalam interaksi interspesifik, spesies-spesies berkompetisi dengan menggunakan berbagai strategi yang berbeda untuk mendapatkan sumber daya. Misalnya, dalam kompetisi untuk sumber daya makanan, spesies-spesies dapat bersaing melalui persaingan langsung atau melalui penyesuaian perilaku dan pola makan. Persaingan langsung dapat terjadi ketika spesies dengan habitat dan kebutuhan makanan serupa berusaha melawan satu sama lain untuk mendapatkan sumber daya tersebut (Wereszczuk & Zalewski, 2015). Contoh sering terjadi di alam adalah kompetisi

antara berbagai jenis burung untuk mendapatkan makanan di suatu kawasan hutan yang terbatas.

Namun, interaksi kompetisi tidak selalu bersifat negatif. Dalam beberapa kasus, kompetisi dapat mendorong evolusi dan menghasilkan spesies yang lebih adaptif. Misalnya, dalam kompetisi untuk sumber daya tertentu, individu-individu yang memiliki keunggulan kompetitif dalam penggunaan sumber daya tersebut cenderung memiliki lebih banyak keturunan daripada individu-individu yang kurang efisien. Akibatnya, seiring waktu, spesies tersebut akan mengalami evolusi dan menjadi lebih efisien dalam memanfaatkan sumber daya tersebut.

Selain itu, kompetisi juga dapat mendorong keberagaman spesies dalam suatu ekosistem. Kompetisi yang intens antara spesies dengan kebutuhan makanan serupa dapat memicu spesiasi, yaitu pembentukan spesies baru. Spesies yang saling bersaing dalam hal penggunaan sumber daya akan menghasilkan tekanan seleksi yang kuat, sehingga individu-individu dengan kebutuhan makanan yang sedikit berbeda akan memiliki keunggulan kompetitif yang lebih besar (Grether et al., 2013). Hal ini dapat memicu perubahan dalam pola makan dan perilaku yang akhirnya mengarah pada terbentuknya spesies baru.

Selain kompetisi antar spesies, kompetisi juga sering terjadi antara individu-individu dari spesies yang sama. Dalam kompetisi intraspesifik, individu-individu berkompetisi untuk sumber daya yang sama, seperti tempat berkembang biak atau pasangan kawin (Baur et al., 2020). Kompetisi ini sering terjadi pada periode kawin atau musim berkembang biak, ketika persaingan untuk memperoleh pasangan yang baik menjadi sangat tinggi.

Dalam kompetisi intraspesifik, individu-individu dengan keunggulan kompetitif akan memiliki peluang yang lebih besar dalam memperoleh sumber daya tersebut. Misalnya, individu dengan ukuran tubuh yang lebih besar atau suara panggilan yang lebih kuat mungkin lebih berhasil dalam memikat pasangan atau mengusir pesaing. Kompetisi intraspesifik ini penting dalam regulasi populasi dan mempengaruhi struktur populasi serta distribusi individu dalam suatu area (Grether et al., 2013).



Gambar 6.3. Kompetisi intraspesies dalam penentuan area makan pada beruang
(Sumber: BBC Bitesize, 2023)

6.4 Mutualisme

Interaksi antar spesies dalam bentuk mutualisme merupakan salah satu fenomena yang menarik di dunia alam. Mutualisme dapat didefinisikan sebagai hubungan saling menguntungkan antara dua spesies yang berbeda, di mana keduanya mendapatkan keuntungan dari interaksi tersebut (Vázquez et al., 2015).

Salah satu contoh mutualisme yang paling terkenal adalah hubungan antara tumbuhan dan serangga penyerbuk. Tumbuhan membutuhkan serangga penyerbuk untuk membantu proses penyerbukan dan pemindahan serbuk sari dari bunga jantan ke bunga betina. Serangga penyerbuk seperti lebah, kupu-kupu, dan capung akan mendapatkan makanan berupa nektar dari bunga-bunga tersebut (Larson et al., 2018). Selain itu, serangga-serangga ini juga akan membantu menyebarkan benih tumbuhan ke tempat yang lebih jauh.

Di dalam dunia laut, terdapat pula contoh mutualisme yang menarik antara ikan pembersih dan ikan inang. Ikan pembersih seperti ikan *cleaner wrasse* (*Labroides dimidiatus*) akan membersihkan parasit atau sisa makanan pada tubuh ikan inang seperti ikan pari dan ikan hiu (Trigo et al., 2023). Ikan pembersih ini

mendapatkan makanan yang cukup melimpah dan perlindungan dari pemangsa ketika berada di wilayah ikan inang tersebut.

Selain dari contoh-contoh di atas, ada pula mutualisme yang terjadi antara manusia dengan spesies lain dalam lingkungan sekitar. Salah satu contohnya adalah hubungan antara manusia dengan bakteri usus. Bakteri ini membantu dalam proses pencernaan dan penyerapan nutrisi di usus manusia (Zhang et al., 2015). Di sisi lain, manusia menyediakan makanan bagi bakteri tersebut dalam bentuk serat makanan yang tidak dapat dicerna oleh tubuh manusia.

Mutualisme juga terjadi antara kepik dan semut. Dalam hubungan ini, kepik memberikan semut madu manis sebagai imbalan bagi keamanan dan perlindungan dari pemangsa lain di sekitar sarang semut (Mooney et al., 2019). Kepik ini hidup di dalam sarang semut dan menjaga kebersihannya dengan memakan serangga-serangga yang merugikan sarang semut.

Secara keseluruhan, interaksi mutualisme memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Interaksi ini menunjukkan kolaborasi antara spesies yang berbeda dengan saling memberikan keuntungan bagi keduanya (Duguid & Melis, 2020). Selain itu, mutualisme juga memperkaya keanekaragaman hayati dan proses alami di alam.

Meskipun interaksi mutualisme mendapat banyak manfaat, tetapi interaksi ini juga dapat terganggu oleh perubahan lingkungan yang disebabkan oleh manusia. Penggunaan pestisida, polusi, dan deforestasi dapat mengganggu hubungan mutualisme antara spesies dan menyebabkan dampak negatif pada keberlanjutan ekosistem (Teixido et al., 2022). Oleh karena itu, penting bagi manusia untuk memahami dan menghormati interaksi mutualisme di alam serta menjaga kelestarian dan keanekaragaman hayatinya.



Gambar 6.4. Simbiosis mutualisme antara kupu-kupu dan bunga
(Sumber: Tumblr, 2019)

6.5 Parasitisme

Interaksi antar spesies dalam bentuk parasitisme adalah salah satu bentuk hubungan yang terjadi dalam ekosistem. Dalam parasitisme, satu spesies yang disebut parasit akan mengambil manfaat sementara mengorbankan spesies inangnya (Kutzer & Armitage, 2016). Interaksi ini sangat penting dalam mempertahankan keseimbangan ekosistem karena dapat mempengaruhi populasi dan perkembangan spesies yang terlibat.

Parasitisme terjadi pada banyak jenis organisme, seperti hewan, tumbuhan, dan bahkan mikroorganisme (Kemen et al., 2015). Dalam kebanyakan kasus, parasit menggunakan tubuh inangnya sebagai tempat hidup dan mencari makanan. Ada dua jenis parasitisme, yaitu parasitisme eksternal dan internal.

Parasitisme eksternal terjadi ketika parasit hidup di luar tubuh inangnya (Smit et al., 2014). Contoh yang paling umum adalah kutu pada hewan, seperti anjing, atau nyamuk pada manusia. Kutu dan nyamuk akan menghisap darah inangnya sebagai sumber makanan. Selain itu, lalat bot juga merupakan contoh dari parasitisme eksternal. Lalat bot betina akan meletakkan telur di kulit inangnya dan larvanya akan berkembang biak di dalam kulit.

Parasitisme internal, di sisi lain, terjadi ketika parasit hidup di dalam tubuh inangnya (Weinstein & Kuris, 2016). Parasit seperti

cacing pita dan cacing usus adalah contoh dari parasitisme internal. Mereka menggunakan inang mereka sebagai sumber makanan dan tempat berkembang biak. Beberapa jenis cacing masih bisa bertahan hidup di dalam tubuh inangnya untuk waktu yang lama, sementara yang lain hanya sementara.

Interaksi parasitisme menyebabkan dampak baik dan buruk pada inangnya (Gillespie et al., 2016). Dampak yang positif dapat berupa penyaringan sumber daya dalam ekosistem dan pemangsaan populasi yang tidak terkendali. Pada sisi negatif, parasitisme dapat menyebabkan kelemahan fisik, penurunan produktivitas, dan penyebaran penyakit pada inangnya.

Dalam beberapa kasus, interaksi parasitisme dapat menghasilkan co-evolusi antara parasit dan inangnya (Vorbürger & Perlman, 2018). Hal ini dikarenakan adaptasi yang terjadi pada kedua spesies akibat interaksi parasitisme ini. Sebagai contoh, ada bukti bahwa manusia telah berevolusi tahan terhadap beberapa penyakit menular yang disebabkan oleh parasit, seperti malaria.

Selain itu, interaksi parasitisme juga dapat memberikan dukungan ekosistem yang bervariasi (Frainer et al., 2018). Beberapa spesies parasit dapat memengaruhi populasi hewan yang berlimpah secara signifikan. Misalnya, parasit yang hidup di dalam tubuh hiu dapat mempertahankan angka populasi ikan melalui pengendalian populasi yang dilakukan oleh hiu.



Gambar 6.5. Parasitisme yang dilakukan oleh nyamuk terhadap manusia

(Sumber: Scholars Ark, 2020)

6.6 Komensalisme

Interaksi antar spesies dalam bentuk komensalisme adalah salah satu bentuk hubungan simbiotik di alam. Dalam komensalisme, satu spesies diperuntukkan sebagai tuan rumah (host) yang memberikan keuntungan bagi spesies lain yang disebut dengan komensal. Dalam hubungan ini, komensal mendapatkan benefit atau manfaat, sedangkan tuan rumah tidak mendapatkan manfaat atau kerugian secara signifikan (Mathis & Bronstein, 2020).

Adanya komensalisme memungkinkan untuk terjadinya kemajuan dan kelangsungan hidup spesies yang terlibat (Mougi, 2016). Banyak contoh interaksi komensalisme dapat ditemui di alam, baik itu di darat, air tawar, maupun laut. Contohnya adalah burung jalak dan simpanse, dimana burung jalak membuat sarang di punggung simpanse untuk berteduh dan mencari makanan. Simpanse dalam hal ini hanya membiarkan burung jalak menggunakan punggungnya sebagai tempat berlindung, sementara jalak membantu menghilangkan kutu di kulit mereka yang mengganggu.

Selain itu, terdapat pula contoh komensalisme dalam air laut antara ikan remora dan hiu atau pari (Norman et al., 2021). Ikan remora memiliki sirip punggung yang dimodifikasi yang memungkinkannya melekat pada tubuh hiu atau pari dengan kuat. Remora memanfaatkan kekuatan melekatnya pada inangnya untuk bertahan hidup, sambil juga mendapatkan sisa makanan yang hilang atau mungkin tersisa di sekitar inang. Inang, di sisi lain, tidak terlalu terpengaruh oleh adanya remora yang melekat pada tubuhnya, sehingga tidak ada kerugian signifikan yang ditimbulkan.

Selain itu, pada kura-kura laut, terdapat jenis kepiting laut yang hidup secara simbiosis pada kerangka atau cangkang kura-kura tersebut. Kepiting ini memanfaatkan kerangka kura-kura sebagai tempat bersembunyi dan melindungi diri dari predator. Kepiting tersebut tidak memberikan kerugian yang signifikan terhadap kura-kura, sehingga interaksi tersebut merupakan komensalisme yang saling menguntungkan bagi kedua spesies tersebut.

Manfaat dalam hubungan komensalisme bisa berupa perlindungan, perlindungan dari predator, atau bahkan

mendapatkan makanan tambahan (Mathis & Bronstein, 2020). Sementara itu, tuan rumah bisa mendapatkan keuntungan tidak langsung seperti membersihkan kulit dan rambut mereka dari parasit atau sisa makanan yang tersisa. Keuntungan ini membantu untuk memperbaiki kondisi tubuh tuan rumah dan juga memperpanjang umur hidup mereka.



Gambar 6.6. Komensalisme yang dilakukan anggrek terhadap batang pohon
(Sumber : Daniel, 2023)

6.7 Amensalisme

Interaksi antar spesies adalah suatu bentuk hubungan antara organisme yang berbeda, yang dapat mempengaruhi kondisi dan status keberadaan masing-masing spesies tersebut. Salah satu bentuk interaksi antar spesies yang menarik untuk dibahas adalah amensalisme.

Amensalisme adalah suatu bentuk interaksi antar spesies di mana satu spesies (spesies penekan) merugikan spesies lainnya (spesies tertindas), tanpa mendapatkan manfaat langsung atau terkena dampak negatif dari spesies tertindas tersebut (Chen, 2018). Dalam interaksi amensalisme, spesies penekan menggunakan sumber daya yang ada dalam lingkungan sehingga mengurangi ketersediaan sumber daya bagi spesies tertindas. Dalam beberapa kasus, spesies penekan juga dapat mengeluarkan

zat kimia yang dapat membahayakan atau menghambat pertumbuhan spesies tertindas.

Salah satu contoh paling umum dari amensalisme adalah pengambilan nutrisi oleh tumbuhan yang menggunakan sinar matahari untuk fotosintesis, sehingga mengurangi ketersediaan cahaya bagi tumbuhan yang berada di bawahnya (Berthelot et al., 2019). Tumbuhan yang berada di bawah tumbuhan yang lebih besar akan kesulitan dalam proses fotosintesis karena keterbatasan cahaya yang diterima. Contoh lain dari amensalisme adalah ketika tumbuhan mengekstrak nutrisi tanah yang diperlukan oleh organisme lain, seperti tumbuhan parasit yang mengambil nutrisi dari tumbuhan inang mereka.

Amensalisme juga dapat terjadi dalam dunia hewan (LaMalfa et al., 2012). Seekor hewan besar seperti gajah, dapat merusak atau menghancurkan vegetasi yang ada di sekitarnya saat bergerak atau mencari makan. Hal ini dapat membuat spesies tumbuhan lainnya sulit untuk tumbuh atau bereproduksi di wilayah yang terkena dampak. Beberapa serangga juga mampu menghasilkan senyawa kimia yang bersifat toksik atau menghambat pertumbuhan organisme lain, seperti semut yang mengeluarkan zat kimia untuk melindungi diri dari serangan pemangsa.

Selain itu, amensalisme juga terjadi dalam interaksi mikroba. Misalnya, beberapa jenis bakteri mampu menghasilkan antibiotik yang dapat membunuh atau menghambat pertumbuhan bakteri lainnya. Amensalisme ini telah dimanfaatkan oleh manusia untuk pengembangan antibiotik modern yang digunakan dalam pengobatan infeksi bakteri (Van Elsas et al., 2019).

Ketika amensalisme terjadi dalam populasi organisme yang berhubungan erat dengan ekosistem, dampaknya dapat dirasakan dalam dinamika ekosistem secara keseluruhan (García-Callejas et al., 2018). Perubahan dalam ketersediaan sumber daya atau penyediaan senyawa kimia dapat mempengaruhi kelangsungan hidup dan distribusi spesies tertentu, serta memengaruhi keseimbangan ekosistem.

Meskipun amensalisme dapat merugikan satu spesies tertentu, hal itu juga dapat memberikan manfaat bagi spesies lainnya. Misalnya, tumbuhan yang tumbuh di bawah kanopi pohon

besar dapat mendapatkan naungan yang menawarkan perlindungan dari sinar matahari yang berlebihan atau cuaca ekstrem.



Gambar 6.6. Proses amensalisme yang terjadi antara pohon dengan kanopi lebih lebar terhadap tumbuhan di bawahnya
(Sumber : Toppr-Guides, 2018)

6.8 Netralisme

Netralisme adalah interaksi antar spesies yang tidak memberikan efek positif maupun negatif bagi keduanya. Dalam netralisme, spesies yang berinteraksi hidup berdampingan tanpa saling memengaruhi. Netralisme merupakan salah satu bentuk interaksi antar spesies yang tergolong sederhana dan jarang ditemui pada ekosistem alam (Kitching, 2013). Sebagian besar interaksi antar spesies akan memiliki efek positif atau negatif bagi salah satu atau kedua spesies yang terlibat. Namun, pada beberapa kasus, ada spesies-spesies yang hidup berdekatan tanpa adanya efek yang signifikan.

Contoh nyata dari netralisme adalah interaksi antara tikus dan burung pada sebuah lahan pertanian. Tikus dapat tinggal di dekat sarang burung tanpa saling mengganggu satu sama lain. Tikus mendapatkan tempat perlindungan dan sumber makanan dari sisa-sisa makanan di sekitar sarang burung. Sedangkan burung tidak

merasa terganggu dengan kehadiran tikus karena tikus tidak berupaya mencuri atau mengganggu sarang mereka.

Interaksi netralisme juga dapat ditemukan dalam hubungan antara beberapa tumbuhan dan hewan (Sieber et al., 2019). Misalnya, ada beberapa serangga yang tinggal di atas tanaman tanpa memberikan manfaat atau merugikan tumbuhan tersebut. Mereka hanya menggunakan tanaman sebagai tempat bertengger atau mencari makanan yang tidak merusak tumbuhan itu sendiri.

Dalam ekosistem air, interaksi netralisme juga dapat terjadi. Misalnya, ada beberapa jenis ikan yang hidup di dalam danau atau sungai yang tidak mempengaruhi organisme lain yang juga hidup di dalam air tersebut. Mereka hidup berdampingan tanpa memberikan efek yang signifikan terhadap komunitas lainnya.

Meskipun interaksi netralisme tidak terlalu sering terjadi dalam ekosistem alam, namun hal ini tidak berarti bahwa interaksi ini tidak memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan alam. Interaksi netralisme dapat memberikan stabilitas pada suatu ekosistem dengan mempertahankan variasi spesies yang cukup dalam suatu tempat (Kalyuzhny et al., 2014).

Dalam konteks konservasi alam, penting untuk memahami dan menghormati setiap bentuk interaksi antar spesies, termasuk netralisme. Kehadiran spesies netralisme dapat memberikan warisan genetik dan ekologis yang kaya bagi ekosistem tersebut (Linguist et al., 2015).



Gambar 6.6. Netralisme yang antara antelop, zebra, dan rusa di sumber air
(Sumber : Jones, 2015)

DAFTAR PUSTAKA

- Akinsoji, A., Agboola, O. O., Adeonipekun, P. A., Oyebanji, O. O., Adeniyi, T. A., & Ajibode, M. O. 2016. Occurrence and distribution of Pteridophytes in parts of Lagos and Osun states. *Ife Journal of Science*, 18(2), 447-453.
- Anonim. 2023. Chloroplast in Plant Leaf. <https://www.vecteezy.com/vector-art/372957-diagram-showing-chloroplast-in-plant-leaf>
- Baur, J., Roy, J., Schäfer, M. A., Puniamoorthy, N., Blanckenhorn, W. U., & Rohner, P. T. 2020. Intraspecific mating system evolution and its effect on complex male secondary sexual traits: Does male-male competition increase selection on size or shape?. *Journal of evolutionary biology*, 33(3), 297-308.
- BBC Bitesize. 2023. Competition in ecosystems - Ecosystems - National 5 Biology Revision Bbc.co.uk. <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/z2vjrwz/revision/5>
- Berthelot, C., Chalot, M., Leyval, C., & Blaudez, D. 2019. From darkness to light: emergence of the mysterious dark septate endophytes in plant growth promotion and stress alleviation. *Endophytes for a growing world*, 143-164.
- Chen, B. 2018. Dynamic behaviors of a non-selective harvesting Lotka-Volterra amensalism model incorporating partial closure for the populations. *Advances in Difference Equations*, 2018, 1-14.
- Coleman, B. T., & Hill, R. A. (2014). Living in a landscape of fear: the impact of predation, resource availability and habitat structure on primate range use. *Animal Behaviour*, 88, 165-173.
- Daniel. (2023). What Benefit Does The Orchid Get From The Tree? Revealed. Plantophiles. <https://plantophiles.com/houseplant-tips/what-benefit-does-the-orchid-get-from-the-tree/>
- Duguid, S., & Melis, A. P. (2020). How animals collaborate: Underlying proximate mechanisms. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 11(5), e1529.

- Frainer, A., McKie, B. G., Amundsen, P. A., Knudsen, R., & Lafferty, K. D. (2018). Parasitism and the biodiversity-functioning relationship. *Trends in Ecology & Evolution*, 33(4), 260-268.
- García-Callejas, D., Molowny-Horas, R., & Araújo, M. B. (2018). Multiple interactions networks: towards more realistic descriptions of the web of life. *Oikos*, 127(1), 5-22.
- Gillespie, M. A., Gurr, G. M., & Wratten, S. D. (2016). Beyond nectar provision: the other resource requirements of parasitoid biological control agents. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 159(2), 207-221.
- Grether, G. F., Anderson, C. N., Drury, J. P., Kirschel, A. N., Losin, N., Okamoto, K., & Peiman, K. S. (2013). The evolutionary consequences of interspecific aggression. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1289(1), 48-68.
- Godsoe, W., Holland, N. J., Cosner, C., Kendall, B. E., Brett, A., Jankowski, J., & Holt, R. D. (2017). Interspecific interactions and range limits: Contrasts among interaction types. *Theoretical Ecology*, 10, 167-179.
- Larson, D. L., Larson, J. L., & Buhl, D. A. (2018). Conserving all the pollinators: Variation in probability of pollen transport among insect taxa. *Natural Areas Journal*, 38(5), 393-401.
- Jones, D. C. (2015). *Top 10 Big Game Safari Destinations around the World*. Traveloompa. <https://www.traveloompa.com/top-10-big-game-safari-destinations-around-the-world/>
- Kalyuzhny, M., Seri, E., Chocron, R., Flather, C. H., Kadmon, R., & Shnerb, N. M. (2014). Niche versus neutrality: a dynamical analysis. *The American Naturalist*, 184(4), 439-446.
- Kitching, R. L. (2013). Niches and neutrality: community ecology for entomologists. *Australian Journal of Entomology*, 52(1), 1-7.
- Kemen, A. C., Agler, M. T., & Kemen, E. (2015). Host-microbe and microbe-microbe interactions in the evolution of obligate plant parasitism. *New Phytologist*, 206(4), 1207-1228.
- Kutzer, M. A., & Armitage, S. A. (2016). Maximising fitness in the face of parasites: a review of host tolerance. *Zoology*, 119(4), 281-289.
- LaMalfa, E. M., Riginos, C., & Veblen, K. E. (2021). Browsing wildlife and heavy grazing indirectly facilitate sapling recruitment in

- an East African savanna. *Ecological Applications*, 31(7), e02399.
- Linguist, S., Cottenie, K., Elliott, T. A., Saylor, B., Kremer, S. C., & Gregory, T. R. (2015). Applying ecological models to communities of genetic elements: the case of neutral theory. *Molecular ecology*, 24(13), 3232-3242.
- Mathis, K. A., & Bronstein, J. L. (2020). Our current understanding of commensalism. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 51, 167-189.
- Mooney, E., Davidson, B., Den Uyl, J., Mullins, M., Medina, E., Nguyen, P., & Owens, J. (2019). Elevated temperatures alter an ant-aphid mutualism. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 167(10), 891-905.
- Mougi, A. (2016). The roles of amensalistic and commensalistic interactions in large ecological network stability. *Scientific Reports*, 6(1), 29929.
- Norman, B. M., Reynolds, S. D., & Morgan, D. L. (2021). Three-way symbiotic relationships in whale sharks. *Pacific Conservation Biology*, 28(1), 80-83.
- Schmitz, O. (2017). Predator and prey functional traits: understanding the adaptive machinery driving predator-prey interactions. *F1000Research*, 6.
- Scholars Ark. (2020). Difference Between Parasite and Virus - Scholars Ark. <https://scholarsark.com/question/difference-between-parasite-and-virus/>
- Sieber, M., Pita, L., Weiland-Bräuer, N., Dirksen, P., Wang, J., Mortzfeld, B., ... & Traulsen, A. (2019). Neutrality in the metaorganism. *PLoS Biology*, 17(6), e3000298.
- Smit, N. J., Bruce, N. L., & Hadfield, K. A. (2014). Global diversity of fish parasitic isopod crustaceans of the family Cymothoidae. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 3(2), 188-197.
- Tarjuelo, R., Morales, M. B., Arroyo, B., Mañosa, S., Bota, G., Casas, F., & Traba, J. (2017). Intraspecific and interspecific competition induces density-dependent habitat niche shifts in an endangered steppe bird. *Ecology and evolution*, 7(22), 9720-9730.

- Teixido, A. L., Fuzessy, L. F., Souza, C. S., Gomes, I. N., Kaminski, L. A., Oliveira, P. C., & Maruyama, P. K. (2022). Anthropogenic impacts on plant-animal mutualisms: A global synthesis for pollination and seed dispersal. *Biological Conservation*, 266, 109461.
- The New York Times. (2023). Looking at Humans as “Super Predators.”
<https://www.nytimes.com/interactive/projects/cp/summer-of-science-2015/latest/predator>
- Toppr-Guides. (2018). Population and Population Interaction
<https://www.toppr.com/guides/biology/organism-and-populations/population-and-population-interaction/#Amensalism>
- Treves, A., Krofel, M., & McManus, J. (2016). Predator control should not be a shot in the dark. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(7), 380-388.
- Trigo, S., Narvaez, P., Cardoso, G. C., & Soares, M. C. (2023). Not so monochromatic: Size-dependency of both sex and color in the cleaner wrasse *Labroides dimidiatus*. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1110079.
- Tumblr. (2019). The Adventure Continues.
<https://thecyberniche.tumblr.com/post/852895230/classic-example-of-mutualism>
- Van Elsas, J. D., Pratama, A. A., de Araujo, W. L., & Trevors, J. T. (2019). Microbial interactions in soil. In *Modern soil microbiology, third edition* (pp. 141-161). CRC Press.
- Vázquez, D. P., Ramos-Jiliberto, R., Urbani, P., & Valdovinos, F. S. (2015). A conceptual framework for studying the strength of plant-animal mutualistic interactions. *Ecology letters*, 18(4), 385-400.
- Visco, D. M., Michel, N. L., Boyle, W. A., Sigel, B. J., Woltmann, S., & Sherry, T. W. (2015). Patterns and causes of understory bird declines in human-disturbed tropical forest landscapes: A case study from Central America. *Biological Conservation*, 191, 117-129.

- Vorburger, C., & Perlman, S. J. (2018). The role of defensive symbionts in host-parasite coevolution. *Biological Reviews*, 93(4), 1747-1764.
- Weinstein, S. B., & Kuris, A. M. (2016). Independent origins of parasitism in Animalia. *Biology Letters*, 12(7), 20160324.
- Wereszczuk, A., & Zalewski, A. (2015). Spatial niche segregation of sympatric stone marten and pine marten—avoidance of competition or selection of optimal habitat?. *PLoS One*, 10(10), e0139852.
- Wisz, M. S., Pottier, J., Kissling, W. D., Pellissier, L., Lenoir, J., Damgaard, C. F., ... & Svenning, J. C. (2013). The role of biotic interactions in shaping distributions and realised assemblages of species: implications for species distribution modelling. *Biological reviews*, 88(1), 15-30.
- Wulff, J. (2017). Bottom-up and top-down controls on coral reef sponges: disentangling within-habitat and between-habitat processes. *Ecology*, 98(4), 1130-1139.
- Zhang, Y. J., Li, S., Gan, R. Y., Zhou, T., Xu, D. P., & Li, H. B. (2015). Impacts of gut bacteria on human health and diseases. *International journal of molecular sciences*, 16(4), 7493-7519.

BAB 7

SIKLUS BIOGEOKIMIA

Oleh Oktavius Yoseph Tuta Mago

7.1 Pendahuluan

Siklus biogeokimia yang merupakan sirkulasi unsur atau elemen esensial seperti karbon (C), nitrogen (N), sulfur (S), fosfor (P), oksigen (O) dan air (H₂O) dalam ekosistem, memiliki peranan penting dalam menjaga kelangsungan kehidupan di Bumi. Siklus ini melibatkan peran (mikro)organisme (*bio*), proses geologi (*geo*) dan perubahan *kimia*, yang menggambarkan hubungan inter-koneksi dalam sistem natural planet. Pergerakan unsur kimia terjadi antara faktor biotik ke abiotik dalam ekosistem, dari atmosfer ke tanah dan laut, dan dari tanah ke tumbuhan. Siklus unsur-unsur ini berperan penting dalam mengatur keseimbangan nutrisi untuk pertumbuhan dan perkembangan organisme di setiap relung ekologis (Bernhardt and Schlesinger, 2013; Galloway *et al.*, 2014).

Unsur-unsur CNHOPS merupakan *building block* pembentuk sel yang merupakan unit dasar kehidupan. Unsur ini terlibat dalam proses kehidupan seperti metabolisme energi / respirasi sel, pembentukan asam amino, dan pembentukan jaringan. Hidrogen dan oksigen ditemukan pada molekul air dan molekul organik, yang mana keduanya merupakan komponen penting bagi kehidupan. Karbon adalah “*backbone*” pada semua biomolekul, sedangkan nitrogen merupakan komponen penting dalam asam nukleat dan protein. Fosfor merupakan salah satu komponen nukleotida, selain juga terdapat pada fosfolipid penyusun membran sel. Pada akhirnya, sulfur berperan penting dalam menjaga struktur tiga dimensi protein (Fisher, 2017).

Siklus karbon memiliki peran sentral dalam mengatur tingkat karbon dioksida di atmosfer dan mempengaruhi pola iklim global. Siklus ini berkaitan erat dengan fotosintesis, pernapasan, dan dekomposisi, yang merupakan contoh bagaimana proses biologis, geologis, dan kimia bekerja sama untuk membentuk lingkungan

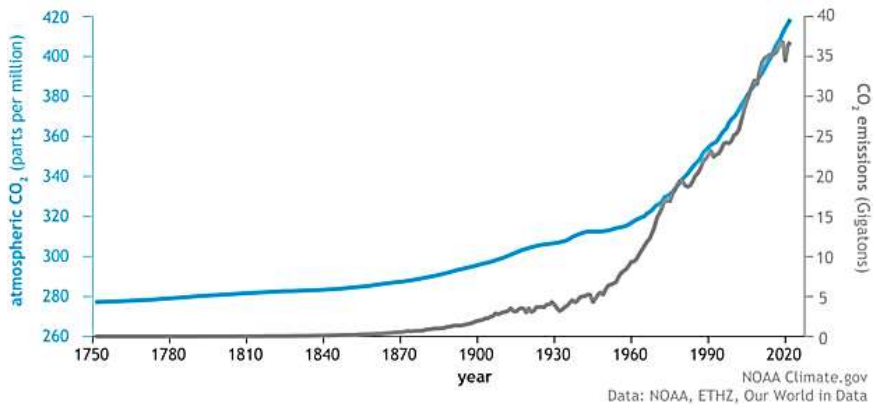
Bumi (Falkowski, 2001). Siklus nitrogen menunjukkan peran penting mikroorganisme dalam proses fiksasi dan denitrifikasi nitrogen, yang meningkatkan ketersediaan nitrogen untuk pertumbuhan tanaman dan mempengaruhi keseimbangan nutrisi secara organisme secara keseluruhan (Stein and Klotz, 2016).

Dalam ulasan komprehensif, Liu dan Chen (2008) menyoroti siklus fosfor, menekankan peran pivot dari proses pelapukan dan pembentukan tanah dalam mengatur ketersediaan fosfor. Siklus yang sering diabaikan dibandingkan dengan siklus karbon dan nitrogen ini, justru memainkan peran fundamental dalam mengatur produktivitas tanaman, dan secara luas juga menjaga struktur dan fungsi ekosistem. Selanjutnya, siklus sulfur menguraikan transformasi senyawa sulfur melalui proses biologi dan abiotik, yang mempengaruhi siklus nutrisi dan komposisi atmosfer (Canfield and Farquhar, 2012).

Pada intinya, infrastruktur ekologi yang mendukung kehidupan serta kehidupan di Bumi itu sendiri dibentuk oleh siklus biogeokimia. Oleh karena itu, pemahaman terhadap proses rumit ini sangat penting untuk memahami kompleksitas ekosistem Bumi. Bab ini akan membahas secara detail tentang siklus unsur-unsur esensial yang membentuk dan mengatur segala bentuk kehidupan di Bumi.

7.2 Siklus Karbon (C)

Karbon dioksida (CO_2) ditemukan dalam jumlah yang relatif lebih sedikit dibandingkan dengan jenis gas lain di atmosfer, namun memegang peran penting dalam menjaga suhu permukaan Bumi. Konsentrasi CO_2 di atmosfer Bumi per Mei 2022 meningkat menjadi 417 ppm (Gambar 7.1). Kandungan CO_2 di atmosfer meningkat pesat sejak adanya Revolusi Industri (1760), karena aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi. Laju peningkatan karbon dioksida atmosfer saat ini 100 kali lebih cepat dibandingkan dengan peningkatan secara alami pada ratusan tahun yang lalu (NOAA Climate.gov, 2022).



Gambar 7.1. Konsentrasi CO₂ dalam periode 1751-2022 (NOAA Climate.gov, 2022)

Unsur karbon merupakan “tulang punggung” kehidupan di Bumi. Tubuh manusia dan makhluk hidup lainnya tersusun dari karbon. Kita mengonsumsi karbon; rumah, kendaraan, bahan bakar bahkan peradaban kita terbuat dari karbon. Kebutuhan akan karbon yang tinggi membuat kita menghadapi permasalahan yang serius di masa sekarang, yaitu perubahan iklim global. Siklus karbon terjadi melalui beberapa *reservoir/sink*, yang merupakan tempat penyimpanan atau sumber karbon, seperti atmosfer, laut, daratan, dan makhluk hidup. Siklus yang kompleks ini melibatkan berbagai reaksi kimia dan proses biologis yang bervariasi (Falkowski *et al.*, 2000; Riebeek, 2011; Pepper, Gerba and Gentry, 2015).

Untuk mempermudah pemahamannya, siklus karbon dapat dipisah menjadi 2 subsiklus, yaitu siklus jangka panjang (*long-term cycle*) atau *biogeochemical cycle* dan siklus jangka pendek (*short-term cycle*) atau *biological cycle*. Siklus karbon jangka panjang mempelajari pergerakan karbon melalui proses geologi seperti pelapukan, aktivitas vulkanik dan sedimentasi yang terjadi antara *reservoir* utama karbon seperti atmosfer, laut dan lapisan batuan Bumi (litosfer). Di sisi lain, siklus karbon jangka pendek berhubungan dengan pergerakan karbon yang melibatkan proses biologis organisme dalam suatu ekosistem, atmosfer dan laut. Proses biologis yang memiliki peran signifikan dalam siklus karbon

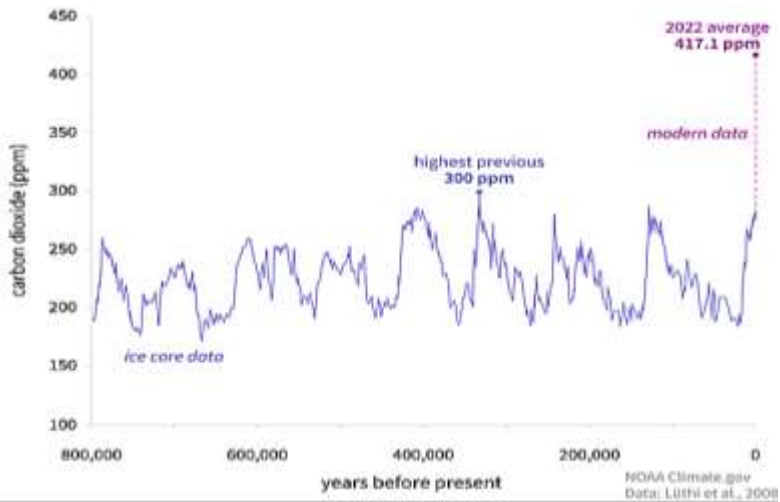
short-term adalah fotosintesis dan respirasi sel (Fowler *et al.*, 2013; Pepper, Gerba and Gentry, 2015).

7.2.1 Siklus Karbon Jangka Panjang

Siklus karbon jangka panjang atau yang disebut juga siklus karbon secara geologi telah berlangsung selama lebih dari puluhan juta tahun. Siklus ini melibatkan pergerakan karbon antara lapisan bebatuan Bumi, laut dan atmosfer melalui proses pelapukan, erosi, aktivitas vulkanik, subduksi, sedimentasi, metamorfisme, serta diagenesis (Riebeek, 2011; Suarez, Edmonds and Jones, 2019).

Siklus karbon ini telah meregulasi temperatur Bumi selama skala waktu geologi, dengan menjaga keseimbangan agar tidak semua karbon memasuki atmosfer, dan juga tidak semuanya tersimpan dalam lapisan batuan Bumi. Semakin banyak karbon yang memasuki atmosfer (kondisi seperti atmosfer Venus), semakin hangat suhu Bumi, dan sebaliknya, semakin banyak karbon yang tersimpan di dalam bebatuan, suhu Bumi akan semakin dingin. Keseimbangan ini telah menjaga suhu tetap stabil selama ratusan ribu tahun (Riebeek, 2011; Pepper, Gerba and Gentry, 2015). Namun, berdasarkan data dari NOAA (2022), konsentrasi karbon yang ada di atmosfer saat ini sudah berada di atas konsentrasi tertingginya selama periode 800.000 tahun (Gambar 7.2).

Melalui rangkaian reaksi kimia yang kompleks dan aktivitas tektonik, karbon membutuhkan waktu 100-200 juta untuk berpindah melalui bebatuan, tanah, laut dan atmosfer dalam siklus karbon jangka panjang. Sekitar 10^{13} sampai 10^{14} gram (10-100 *metric ton*) karbon mengalir melalui siklus karbon jangka panjang tiap tahun. Perpindahan karbon dari atmosfer ke litosfer terjadi via hujan. Karbon bereaksi dengan air di atmosfer membentuk senyawa asam lemah H_2CO_3 (asam karbonat) dan jatuh ke permukaan bersama hujan. Senyawa asam ini melarutkan bebatuan dalam proses yang dikenal dengan pelapukan (*weathering*) dan melepaskan ion-ion kalsium, potassium, sodium dan magnesium. Ion-ion ini kemudian dibawa ke laut oleh aliran sungai atau limpasan (Falkowski *et al.*, 2000; Riebeek, 2011).

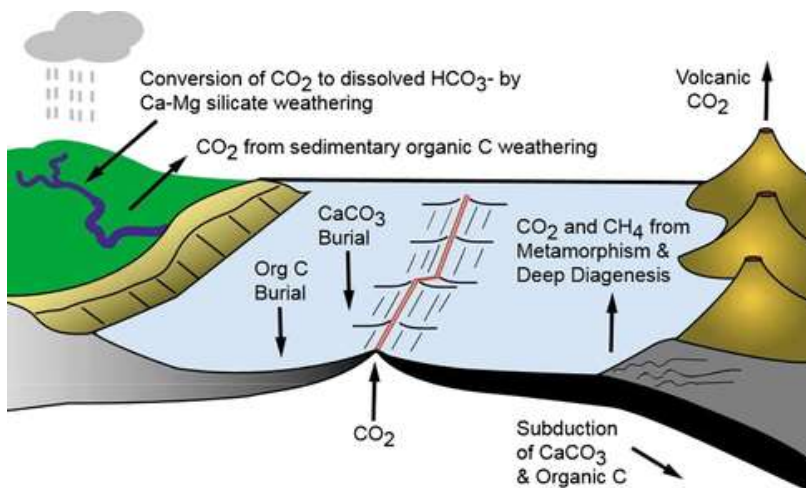


Gambar 7.2. Konsentrasi CO₂ di atmosfer bumi selama periode 800.000 tahun (NOAA Climate.gov, 2022)

Ion kalsium selanjutnya beraksi dengan ion bikarbonat di laut membentuk kalsium karbonat (CaCO₃), yang merupakan komponen utama cangkang hewan laut. Saat hewan-hewan ini mati dan tenggelam, mereka membentuk sedimen di dasar laut. Dalam skala waktu geologi, sedimen ini mengeras menjadi batu gamping (*limestone*), yang merupakan *reservoir* karbon terbesar di dasar laut. Senyawa organik dari sisa organisme laut lain tidak mengeras menjadi *limestone* melainkan bercampur dengan lapisan-lapisan lumpur. Panas dan tekanan tinggi yang dialami oleh lapisan lumpur ini akan mengubahnya menjadi batuan sedimen seperti batu sepih (*shale*). Dalam kasus yang spesial, jika sisa tanaman yang mati terakumulasi lebih cepat dari pada proses penguraian, lapisan karbon ini tidak berubah menjadi *shale* melainkan menjadi minyak, batu bara, atau gas alam (Riebeek, 2011; Faramawy, Zaki and Sakr, 2016).

Karbon dalam siklus jangka panjang akan kembali ke atmosfer melalui aktivitas tektonik dan vulkanik (Gambar 7.3). Sedimen karbon di dasar lautan atau di dalam perut bumi bergerak lebih dalam karena proses subduksi (pergerakan satu lempeng tektonik di bawah lempeng lainnya). Karbon di lepaskan kembali ke atmosfer saat letusan gunung berapi atau melalui *hydrothermal vent*

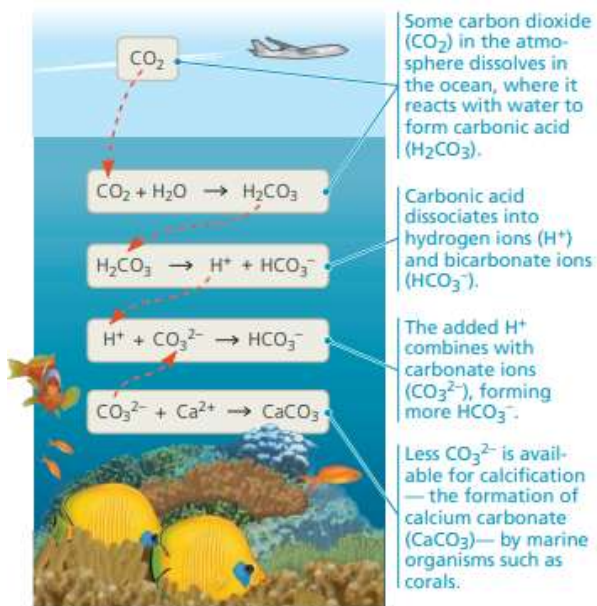
di dasar laut dalam (Berner, 1999; Fisher, 2017; Ramstein *et al.*, 2019). Pada masa sekarang, letusan gunung berapi melepaskan CO₂ ke atmosfer sebanyak 130-380 juta *metric ton* per tahun. Sebagai perbandingan, rerata emisi CO₂ akibat aktivitas manusia khususnya pembakaran bahan bakar fosil adalah 30 miliar ton per tahun (100 sampai 300 kali lipat dari gunung berapi) (Riebeek, 2011).



Gambar 7.3. Siklus karbon jangka panjang (Berner, 1999)

Laut, yang merupakan salah satu komponen dalam siklus karbon jangka panjang, juga dapat *me-recycle* karbon dalam waktu yang relatif lebih singkat. Karbon dioksida di atmosfer dapat larut dalam air laut. Reaksinya dengan molekul air menghasilkan asam karbonat (H₂CO₃) yang kemudian terurai menjadi ion bikarbonat (HCO₃⁻) dan hidrogen (H⁺), menyebabkan laut menjadi lebih asam. Hidrogen, kemudian bereaksi dengan ion karbonat (CO₃²⁻) dan menghasilkan lebih banyak ion bikarbonat. Semakin banyak CO₃²⁻ yang bereaksi dengan H⁺, semakin sedikit ketersediaan CO₃²⁻ yang bereaksi dengan ion kalsium (Ca²⁺) untuk membentuk kalsium karbonat (CaCO₃) (Gambar 7.4). Sebelum era industri, pelepasan CO₂ dari lautan ke atmosfer dapat menjaga keseimbangannya dengan karbon yang masuk ke laut akibat pelapukan bebatuan daratan. Namun, karena konsentrasi CO₂ di atmosfer meningkat,

laut lebih banyak menerima CO₂ dibandingkan melepaskannya ke atmosfer. Hal ini menjadi kekhawatiran para ilmuwan karena ion CO₃²⁻ dibutuhkan pada proses kalsifikasi (pembentukan kalsium karbonat) oleh organisme laut, seperti koral terumbu karang dan hewan bercangkang (Riebeek, 2011; Urry *et al.*, 2020).

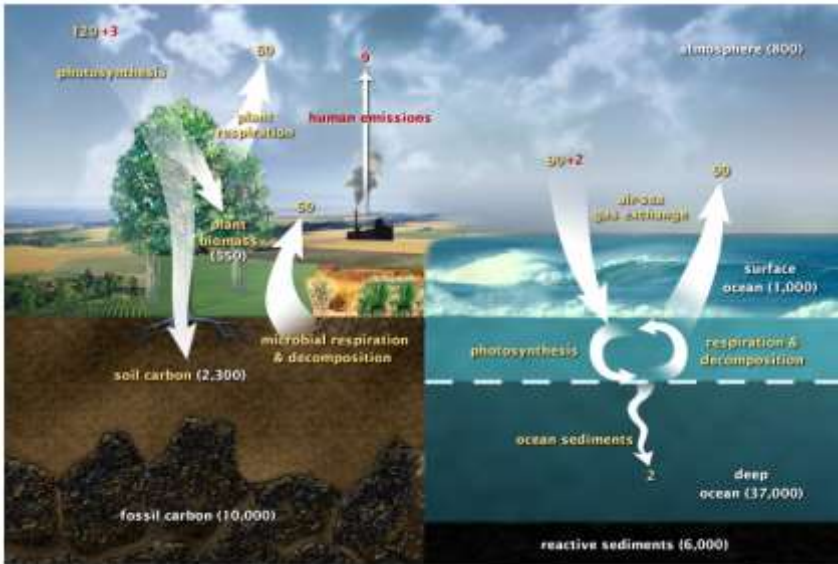


Gambar 7.4. Kelebihan CO₂ di atmosfer dan dampaknya baik kehidupan laut (Urry *et al.*, 2020)

7.2.2 Siklus Karbon Jangka Pendek

Siklus karbon jangka pendek melibatkan pergerakan karbon melalui makhluk hidup di bumi. Tumbuhan dan fitoplankton merupakan pemeran utama dalam siklus ini. CO₂ di atmosfer di fiksasi oleh kelompok autotrof ini dan mengubahnya menjadi sumber karbon organik (glukosa) dan oksigen (O₂) bagi organisme heterotrof. Karbon organik memiliki peran sebagai sumber energi dan pembangun (struktural) dalam sel. Glukosa diperlukan dalam respirasi sel, selulosa sebagai penyusun dinding sel tumbuhan, enzim yang mengatalis reaksi kimia dan nukleotida penyimpan materi genetik, semuanya mengandung unsur karbon.

Pelepasan kembali karbon dari makhluk hidup ke atmosfer dapat terjadi secara aerob dan anaerob. Pelepasan CO₂ melalui respirasi sel dan dekomposisi jasad organisme yang mati terjadi secara aerob. Sedangkan secara anaerob, proses fermentasi dan metanogenesis memainkan perannya (Pepper, Gerba and Gentry, 2015). Gambar 7.5 menunjukkan pergerakan karbon dalam siklus jangka pendek yang melibatkan atmosfer, tanah dan laut serta makhluk hidup.

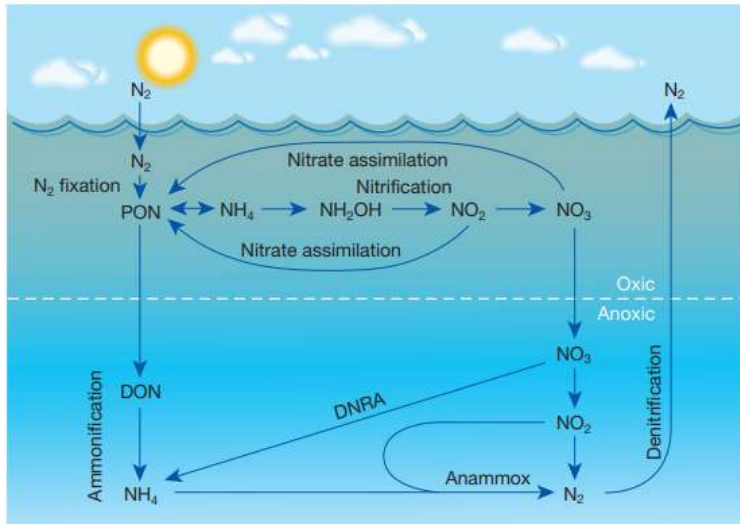


Ket: Tulisan kuning: aliran CO₂ natural; Tulisan merah: kontribusi manusia; Tulisan putih: CO₂ yang tersimpan; Angka dalam giga ton

Gambar 7.5. Siklus karbon jangka pendek (Riebeek, 2011)

7.3 Siklus Nitrogen (N)

Siklus nitrogen mendeskripsikan proses transformasi nitrogen melalui berbagai bentuk senyawa kimia serta alirannya di antara atmosfer, tanah dan ekosistem akuatik. Siklus ini terjadi melalui proses oksidasi dan reduksi. Reaksi kimia yang terjadi dalam siklus nitrogen di antaranya adalah, Fiksasi, Oksidasi Amonium (Nitrifikasi dan Annamox), Asimilasi Amonium (imobilisasi), Amonifikasi (Mineralisasi), dan Reduksi Nitrat (Reduksi Nitrat Asimilasi, Reduksi Nitrat Disimilasi) (Gambar 7.6).



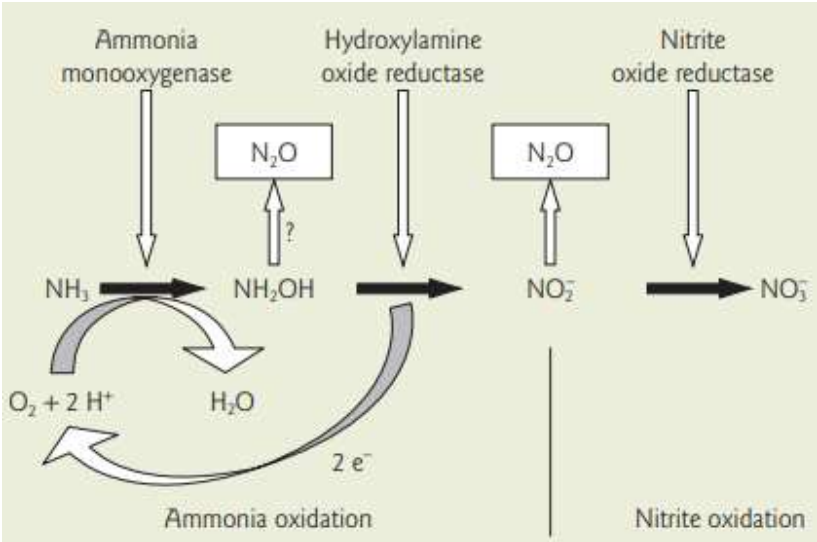
Gambar 7.6. Siklus nitrogen (Madsen, 2008)

Siklus nitrogen dimulai dengan pengikatan (fiksasi) gas nitrogen (N_2) dari *reservoir* nitrogen terbesar, atmosfer. Fiksasi N_2 dapat dilakukan oleh bakteri yang memiliki enzim khusus, nitrogenase, di antaranya adalah *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Azospirillum*, *Clostridium*, *Rhizobium*, *Cyanobacteria*, dan beberapa genus bakteri lainnya. *Rhizobium* merupakan pengikat nitrogen yang bersimbiosis dengan akar *legume*. Saat bersimbiosis, *rhizobium* mampu mengikat N_2 sebanyak 150-200 kg/hektar/tahun. Tanpa *legume*, *rhizobium* hanya mampu mengikat nitrogen sekitar 3,5 kg/hektar/tahun (Black, 2012).

Hasil dari pengikatan N_2 dari atmosfer adalah amonia (NH_3) atau amonium (NH_4^+). Amonia atau amonium kemudian dioksidasi dalam kondisi aerob dan menghasilkan senyawa nitrit (NO_2^-) dan nitrat (NO_3^-) dalam dua tahapan proses yang disebut nitrifikasi (Gambar 7.7). Proses ini dilakukan oleh kelompok bakteri nitrifikasi (*Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*). Tumbuhan, kemudian, dapat mengambil nitrogen dalam bentuk nitrat ini (Black, 2012).

Oksidasi amonium juga dapat dilakukan dalam kondisi anaerob, yang dikenal dengan Anammox (*anaerob ammonium oxidation*). Proses ini dapat terjadi pada ekosistem akuatik maupun terrestrial yang memiliki level oksigen rendah. Bakteri annamox

memanfaatkan nitrit (NO_2^-) sebagai akseptor elektron terakhir (oksigen pada oksidasi aerob). Hasil oksidasi NH_4^+ melalui annamox adalah nitrat (NO_3^-) dan N_2 .



Gambar 7.7. Dua tahapan nitrifikasi (Madsen, 2008)

Amonium hasil fiksasi juga dapat diasimilasi secara langsung oleh sel-sel bakteri untuk keperluan sintesis asam amino, komponen dinding sel (asam *N-acetylmuramic*) serta basa purin dan pirimidin penyusun asam nukleat. Proses ini dikenal dengan asimilasi amonium/imobilisasi. Proses yang berlawanan dengan imobilisasi, pelepasan dari penguraian sel-sel yang mati disebut amonifikasi/mineralisasi (Pepper, Gerba and Gentry, 2015).

Nitrat (NO_3^-) yang diserap oleh tumbuhan dan mikroorganisme akan mengalami reduksi menjadi amonium (NH_4^+), yang nantinya akan membentuk biomassa. Proses ini dikenal dengan reduksi nitrat asimilasi/imobilisasi nitrat (Pepper, Gerba and Gentry, 2015).

Selanjutnya, dalam reaksi reduksi nitrat disimilasi, mikroorganisme menggunakan nitrat sebagai akseptor elektron terakhir dalam respirasi anaerob untuk menjalankan proses oksidasi senyawa organik. Reduksi nitrat disimilasi ini dapat berlangsung dalam dua (2) jalur berbeda, yaitu *dissimilatory nitrate*

reduction to ammonium (DNRA) dan denitrifikasi. Pada DNRA, nitrat direduksi menjadi amonium, sedangkan pada denitrifikasi, campuran senyawa gas seperti *nitric oxide* (NO), *nitrous oxide* (N₂O) dan dinitrogen (N₂) dihasilkan dari proses reduksi nitrat (Pepper, Gerba and Gentry, 2015; Stein and Klotz, 2016).

7.4 Siklus Sulfur (S)

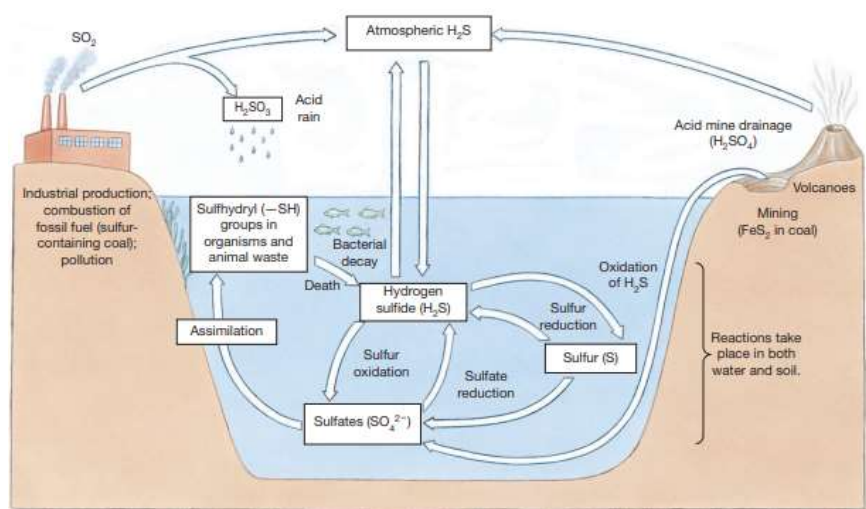
Sulfur dikeluarkan dalam bentuk gas dari dalam perut bumi, yang merupakan *reservoir* terbesar sulfur, melalui letusan gunung berapi. Sulfur yang dikeluarkan biasanya ditemukan dalam bentuk sulfur dioksida (SO₂) dan hidrogen sulfida (H₂S), yang akan larut dalam laut dan *aquifer*. Mayoritas hidrogen sulfida akan membentuk metal sulfida seperti iron sulfida/*pyrite* (FeS₂), sedangkan sulfur dioksida akan membentuk iron sulfat seperti *gypsum* (CaSO₄). *Pyrite* dan *gypsum* akan membentuk lapisan batuan dan tersimpan dalam perut bumi (Pepper, Gerba and Gentry, 2015).

Sebagian senyawa gas sulfur yang ada permukaan tanah dan laut (mayoritas dalam bentuk sulfat (SO₄²⁻)) akan diangkut ke dalam sel mikroorganisme dan tumbuhan, dan mereduksinya. Proses ini dikenal dengan reduksi sulfat asimilasi. Sebaliknya, pelepasan sulfur organik ke lingkungan dalam proses dekomposisi dikenal dengan sulfur mineralization. Dalam proses ini, sulfur organik diubah menjadi H₂S dan *dimethylsulfide* (DMS). Pembakaran bahan bakar fosil juga melepaskan SO₂, yang akan bereaksi dengan H₂O di atmosfer membentuk *sulfurous acid* (H₂SO₃), menyebabkan hujan asam (Gambar 8) (Black, 2012; Pepper, Gerba and Gentry, 2015).

Reduksi sulfur juga dapat terjadi melalui jalur disimilasi, yaitu respirasi sulfur dan reduksi sulfat disimilasi. Jalur ini berlangsung dalam keadaan anaerob dengan memanfaatkan SO₄²⁻ atau S⁰ sebagai akseptor elektron terakhir, dan menghasilkan H₂S. Proses ini menghasilkan energi bagi mikroorganisme *chemoautotroph* (Black, 2012; Pepper, Gerba and Gentry, 2015).

Oksidasi sulfur dikelompokkan menjadi dua (2) jenis, yaitu: oksidasi sulfur kemoautotrofik (OSK) dan oksidasi sulfur fotoautotrofik (OSF). OSK berlangsung secara aerob, meskipun banyak bakteri pengoksidasi sulfur bersifat mikroaerofilik. H₂S atau sulfur elemental (S⁰) menjadi substrat dalam reaksi ini, dan

berturut-turut menghasilkan S^0 atau SO_4^{2-} . Proses ini mengakibatkan terbentuknya air asam tambang (*acid mine drainage*). Di sisi lain, OSF terjadi dalam kondisi anaerob dan hanya bakteri sulfur hijau dan ungu. Proses yang mengoksidasi H_2S menjadi S^0 ini berperan untuk mencegah pergerakan H_2S ke atmosfer dan pengendapannya menjadi logam sulfida (Pepper, Gerba and Gentry, 2015).



Gambar 7.8. Siklus sulfur (Black, 2012)

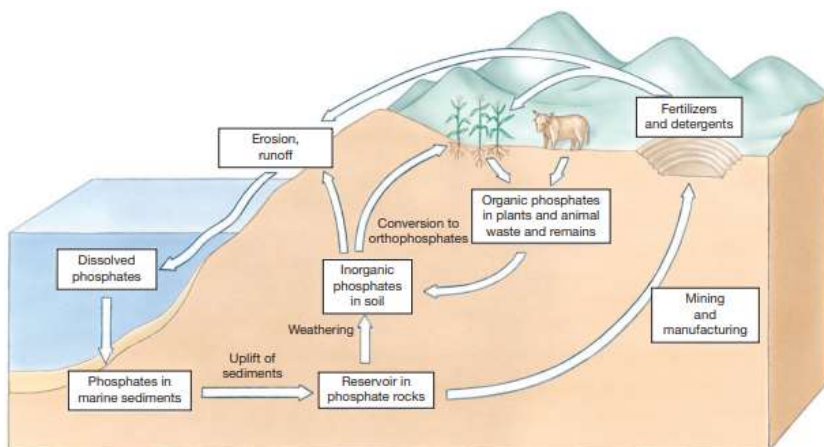
7.5 Siklus Fosfor (P)

Fosfor merupakan elemen penting bagi kehidupan, karena terlibat dalam metabolisme energi organisme (komponen penyusun ATP). Fosfor juga merupakan komponen penting pada DNA dan RNA. Elemen ini merupakan satu dari tiga makronutrien yang dibutuhkan oleh tumbuhan (bersama N dan K) (Liu and Chen, 2008).

Pergerakan fosfor di alam dapat dibagi ke dalam 2 siklus alami, yaitu: siklus fosfor anorganik, siklus fosfor organik (pada tanah dan pada air). Siklus anorganik yang berlangsung sangat lambat, diawali dengan pelapukan batuan hingga membentuk tanah. Fosfor ini selanjutnya dibawa oleh aliran sungai ke laut dan membentuk kalsium fosfat yang akan membentuk sedimen pada

dasar laut. Dalam skala waktu geologi, sedimen ini akan terangkat dari laut saat pembentukan pulau baru, dan siklus alami akan dilanjutkan (Liu and Chen, 2008; Black, 2012).

Siklus organik melibatkan makhluk hidup dalam pergerakan fosfor. Pada lingkungan terrestrial, fosfor yang terdapat di dalam tanah diserap oleh tumbuhan dan mengubahnya menjadi molekul fosfor organik. Senyawa fosfor organik berpindah dalam rantai makanan saat herbivora mengonsumsi tumbuhan dan karnivora mengonsumsi herbivora. Fosfor organik akan kembali ke tanah saat organisme mati dan mengalami dekomposisi menjadi fosfor anorganik (Gambar 7.9) (Black, 2012).

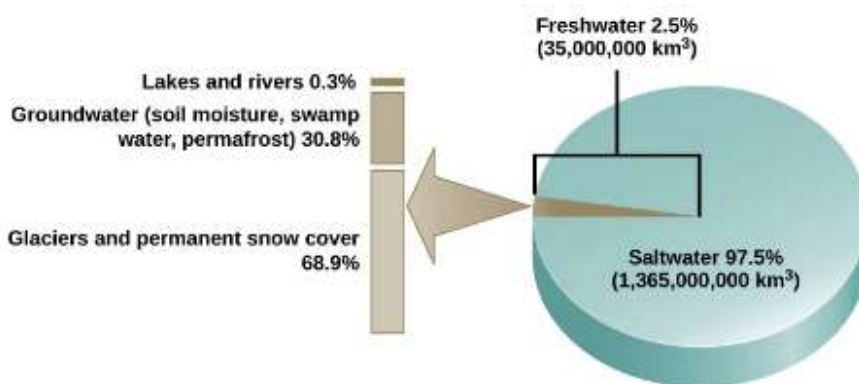


Gambar 7.9. Siklus fosfor
(Black, 2012)

Siklus fosfor relatif lebih lambat jika dibandingkan dengan siklus unsur lainnya, karena tidak ada komponen atmosfer untuk memindahkan fosfor secara langsung dari lautan ke daratan. Sebaliknya, fosfor hanya bergerak di antara organisme hidup dan lingkungan selama siklus. Siklus ini juga dipengaruhi oleh aktivitas manusia seperti pertanian dan pengolahan air limbah, yang dapat menyebabkan eutrofikasi dan masalah lingkungan lainnya (Liu and Chen, 2008).

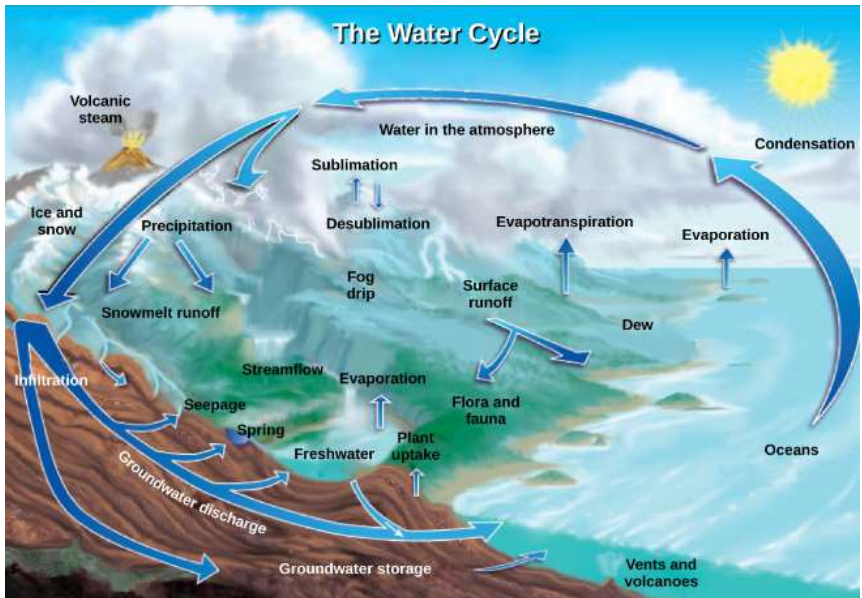
7.6 Siklus Air (H₂O)

Air memiliki peranan yang sangat vital dalam mendukung kehidupan di bumi. Air merupakan komponen terbesar penyusun sel dan tubuh makhluk hidup. Tiga per empat permukaan bumi ditutupi oleh air. Total air yang ada di bumi diperkirakan sekitar 1,4 miliar km³. Air laut menyusun 97,5% dari total air tersebut. Dari jumlah air yang tersisa, 99% berada dalam bentuk air tanah atau es, dan kurang dari 0,3% tersedia dalam bentuk air tawar pada danau dan sungai (Gambar 7.10) (Fowler *et al.*, 2013).



Gambar 7.10. Perbandingan air yang ada di bumi (Fowler *et al.*, 2013)

Beberapa proses yang terjadi pada siklus air, di antaranya adalah: evaporasi dan sublimasi, kondensasi dan presipitasi, serta *surface runoff* dan *snowmelt*. Siklus air dimulai dari pemanasan laut dan air permukaan lain oleh matahari, yang menyebabkan terjadinya evaporasi (perubahan air menjadi uap air) dan sublimasi (perubahan es menjadi uap air). Kedua proses ini menyebabkan sejumlah air berpindah ke atmosfer dalam bentuk uap air. Sebagai tambahan, transpirasi dari daun tumbuhan juga menyumbang uap air ke atmosfer. Uap air di atmosfer selanjutnya mengalami kondensasi membentuk awan dan diikuti oleh presipitasi dalam bentuk hujan, salju atau hujan es, yang membawa air kembali ke permukaan bumi (Gambar 7.11).



Gambar 7.11. Siklus air (Fowler *et al.*, 2013)

Hujan yang jatuh ke bumi akan membentuk aliran permukaan dan kembali ke laut, namun ada sebagian yang meresap ke dalam tanah dan menjadi air tanah (*ground water*). Air tanah merupakan *reservoir* air tawar yang signifikan. Air tanah tersimpan di antara pori-pori partikel tanah, pasir dan kerikil, atau pada celah-celah bebatuan. *Reservoir* air tanah (*aquifer*) merupakan sumber air bagi kehidupan manusia dan irigasi pada lahan pertanian. Air tanah dapat kembali ke permukaan secara alami melalui mata air, maupun dengan sumur buatan manusia (Fowler *et al.*, 2013).

7.7 Penutup

Siklus biogeokimia merupakan jalur pergerakan unsur-unsur dan senyawa kimia melalui biosfer. Siklus-siklus ini memainkan peranan penting bagi kelangsungan hidup organisme, karena memungkinkan terjadinya proses daur ulang materi dan energi, sehingga ketersediaan dan keseimbangannya di ekosistem Bumi tetap terjaga. Semua unsur yang didaur ulang memiliki prinsip dasar yang sama meskipun setiap siklus memiliki karakteristik unik tersendiri.

Yang perlu menjadi catatan penting bagi kita adalah, aktivitas manusia memiliki dampak yang signifikan pada siklus biogeokimia. Perubahan lingkungan yang disebabkan oleh manusia, seperti deforestasi, polusi, dan perubahan iklim, dapat mengganggu siklus ini dan memiliki konsekuensi yang luas bagi “kesehatan” planet Bumi. Dengan mempelajari siklus ini, kita dapat memahami lebih dalam tentang interkoneksi kehidupan di Bumi, dan pentingnya melestarikan sumber daya planet kita. Oleh karena itu, penting bagi kita untuk mengambil langkah-langkah yang mengurangi dampak buruk pada lingkungan, mengambil tindakan untuk melindungi lingkungan kita dan memastikan bahwa siklus ini terus berfungsi dengan baik untuk generasi yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

- Berner, R. 1999. 'A New Look at the Long-term Carbon Cycle', in. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-New-Look-at-the-Long-term-Carbon-Cycle-Berner> (Accessed: 1 November 2023).
- Bernhardt, E. and Schlesinger, W. 2013. *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. 3rd edn.
- Black, J.G. 2012. *Microbiology: Principles and Explorations*. Wiley.
- Canfield, D. and Farquhar, J. 2012. 'The Global Sulfur Cycle', in *Fundamentals of Geobiology*, pp. 49–64. Available at: <https://doi.org/10.1002/9781118280874.ch5>.
- Falkowski, P. *et al.* 2000. 'The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as a System', *Science*, 290(5490), pp. 291–296. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.290.5490.291>.
- Falkowski, P.G. 2001. 'Biogeochemical Cycles', in S.A. Levin (ed.) *Encyclopedia of Biodiversity (Second Edition)*. Waltham: Academic Press, pp. 552–564. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00013-7>.
- Faramawy, S., Zaki, T. and Sakr, A.A.-E. (2016) 'Natural Gas Origin, Composition, and Processing: A Review', *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 34, pp. 34–54. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.06.030>.
- Fisher, M.R. (2017) 'Biogeochemical Cycles'. Available at: <https://openoregon.pressbooks.pub/envirobiology/chapter/3-2-biogeochemical-cycles/> (Accessed: 19 October 2023).
- Fowler, S. *et al.* (2013) *20.2 Biogeochemical Cycles - Concepts of Biology | OpenStax*. OpenStax. Available at: <https://openstax.org/books/concepts-biology/pages/20-2-biogeochemical-cycles> (Accessed: 26 October 2023).
- Galloway, J. *et al.* (2014) 'Biogeochemical Cycles', in, pp. 350–368. Available at: <https://doi.org/10.7930/J0X63JTO>.
- Liu, Y. and Chen, J. (2008) 'Phosphorus Cycle', in *Encyclopedia of Ecology*. Elsevier, pp. 2715–2724. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00754-0>.

- Madsen, E.L. (2008) *Environmental Microbiology: From Genomes to Biogeochemistry*. Malden: Blackwell Publishing.
- NOAA Climate.gov (2022) *Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide*. Available at: <http://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide> (Accessed: 31 October 2023).
- Pepper, I.L., Gerba, C.P. and Gentry, T.J. (2015) *Environmental Microbiology*. 3. ed. Amsterdam Heidelberg: Elsevier Academic Press.
- Ramstein, G. *et al.* (2019) 'Some Illustrations of Large Tectonically Driven Climate Changes in Earth History', *Tectonics*, 38(12), pp. 4454–4464. Available at: <https://doi.org/10.1029/2019TC005569>.
- Riebeek, H. (2011) *The Carbon Cycle*. NASA Earth Observatory. Available at: <https://www.earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle> (Accessed: 31 October 2023).
- Stein, L.Y. and Klotz, M.G. (2016) 'The Nitrogen Cycle', *Current Biology*, 26(3), pp. R94–R98. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.12.021>.
- Suarez, C.A., Edmonds, M. and Jones, A.P. (2019) 'Earth Catastrophes and their Impact on the Carbon Cycle', *Elements*, 15(5), pp. 301–306. Available at: <https://doi.org/10.2138/gselements.15.5.301>.
- Urry, L.A. *et al.* (2020) *Campbell Biology*. 12th edn. New York: Pearson.

BAB 8

EKOSISTEM TERESTRIAL

Oleh Rizmoon Nurul Zulkarnaen

8.1 Pendahuluan

Dalam pembelajaran biologi kehidupan, tahapan pembelajaran dimulai dari aspek terkecil, yakni spesies. Spesies menjadi unit esensial kehidupan, di mana masing-masing entitas hidup memiliki karakteristik yang menandai identitasnya. Daya tarik inti kehidupan, bagaimanapun, terletak pada jalinan interaksi yang kompleks di antara spesies-spesies ini. Pemahaman tersebut kemudian diperdalam dengan melibatkan tingkat populasi, di mana analisis lebih lanjut mengenai cara individu-individu serupa berkumpul dan berinteraksi dalam suatu wilayah tertentu.

Eksplorasi konsep kehidupan terus berkembang menuju tingkat komunitas, di mana fokusnya berpindah dari individu dan populasi ke dinamika kompleks yang memengaruhi sekelompok populasi dalam suatu ekosistem. Pada tingkat ini, interaksi antarspesies menjadi lebih menarik karena terlibat dalam dinamika yang menciptakan interaksi kehidupan yang rumit dan dalam beberapa kasus, saling ketergantungan.

Tetapi, kehidupan tidak dapat sepenuhnya dipahami hanya dengan membatasi pandangan pada tingkat biotik semata. Dalam konteks ini, perlu memperluas cakupan analisis ke tingkat ekosistem. Ekosistem tidak hanya mengacu pada keberadaan organisme dan interaksi biotik semata, tetapi juga memasukkan faktor abiotik yang membentuk lingkungan tempat interaksi tersebut terjadi. Ekosistem menjadi panggung tempat terjadi berbagai dinamika kehidupan yang terkoordinasi, melibatkan aliran energi, peredaran nutrisi, dan siklus ekologis yang menyusun keberlanjutan ekosistem.

Di dalam bab Ekosistem Terrestrial akan berisi tentang apa, siapa, dan bagaimana interaksi kehidupan dalam ekosistem tersebut. Dan sesuai dengan namanya yaitu Terrestrial, itu akan

fokus ke Ekosistem Daratan yang terdiri dari berbagai macam hutan dan kehidupan didalamnya. Singkatnya, dalam bab ini akan dipahami bahwa kehidupan bukan sekadar fenomena biotik, tetapi hasil dari keseimbangan kompleks antara organisme hidup dan lingkungan yang mengelilingi kita. Dengan mengeksplorasi ekosistem secara lebih mendalam, kita mendapati bahwa kehidupan tidak hanya merupakan manifestasi biotik semata, tetapi refleksi dari interaksi harmonis antara kehidupan dan komponen abiotik dalam lingkungan kita.

8.2 Apa itu Ekosistem Terrestrial

8.2.1 Definisi dan Lingkup Ekosistem Terrestrial

Ekosistem terrestrial adalah suatu kompleksitas kehidupan yang berlokasi di daratan bumi, melibatkan interaksi antara berbagai organisme hidup dan faktor lingkungan di suatu wilayah geografis tertentu (Lang & Benbow, 2013). Ekosistem ini mencakup sejumlah besar tipe lahan seperti hutan, padang rumput, gurun, dan berbagai ekosistem darat lainnya, setiap satu memiliki karakteristik dan dinamika unik yang membentuk keragaman kehidupan di planet ini. Dalam pemahaman ini, ekosistem terrestrial memegang peran kunci dalam menjaga keseimbangan ekologi global, menyediakan berbagai layanan ekosistem, dan memberikan tempat tinggal bagi jutaan spesies.

Dengan kata lain, Ekosistem terrestrial bukan hanya sekadar kumpulan organisme hidup, melainkan suatu sistem dinamis yang mencakup organisme tersebut bersama-sama dengan lingkungan fisiknya. Oleh karena itu, istilah "terrestrial" merujuk pada ekosistem yang berbasis di darat, mencakup seluruh spektrum kehidupan dari mikroorganisme di dalam tanah hingga makhluk hidup lainnya yang menjelajahi hutan-hutan lebat atau padang savana.

Lingkup ekosistem terrestrial melibatkan berbagai elemen yang saling terkait. Organisme hidup, termasuk tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme, berinteraksi dalam suatu kerangka ekologis yang melibatkan sumber daya seperti makanan, air, dan ruang hidup. Sementara itu, faktor lingkungan abiotik seperti iklim, tanah, topografi, dan air tanah memainkan peran penting dalam membentuk karakteristik ekosistem tersebut.

Dalam setiap ekosistem terestrial, konsep kerentanan dan keberlanjutan juga memegang peran penting. Lingkungan di daratan sering kali lebih rentan terhadap perubahan lingkungan dan aktivitas manusia, sehingga pemahaman mendalam tentang cara menjaga keseimbangan ekologis menjadi suatu tantangan dan kebutuhan mendesak. Edward O. Wilson, dalam bukunya pada tahun 1992, menyatakan bahwa aktivitas manusia di planet ini berperan sangat tinggi dalam punahnya keanekaragaman hayati dimana pasti akan mengganggu keseimbangan ekologis di masa yang akan mendatang.



Gambar 8.1. Salah satu contoh Bentang alam ekosistem terestrial, Hutan alam pegunungan Taman Nasional Gunung Ciremai

8.2.2 Faktor-faktor Abiotik yang Mempengaruhi Ekosistem Terestrial

Seperti yang sebelumnya disampaikan dalam Pendahuluan bahwa ekosistem terbentuk karena adanya faktor biotik dan abiotik yang saling terhubung. Faktor biotik, tentu merujuk kepada unsur-unsur yang hidup, seperti mikroorganisme, hewan, tumbuhan, dan tingkatan kehidupan lainnya. Sedangkan faktor abiotik merujuk pada unsur-unsur non-hidup yang memainkan peran signifikan dalam membentuk kondisi lingkungan yang menjadi landasan bagi dinamika dan keseimbangan ekologis.

Dalam bab ini, kita akan menelusuri ekosistem terestrial dengan pandangan yang lebih mendalam terhadap beberapa faktor abiotik yang memegang peran sentral. Pemahaman terhadap konsep-konsep ini akan membuka wawasan kita tentang bagaimana karakteristik fisik suatu wilayah dapat membentuk pola kehidupan organisme dan menggambarkan daya tahan serta keberlanjutan ekosistem terestrial melalui interaksi yang kompleks antara organisme dan lingkungan tempat mereka berada. Beberapa faktor abiotik yang berpengaruh dalam lingkup ekosistem terestrial antara lain mencakup:

1. Iklim

Iklim merupakan salah satu faktor abiotik utama dan menjadi kunci dalam membentuk interaksi didalam ekosistem terestrial. Faktor tersebut mencakup suhu, curah hujan, kelembaban udara, dan pola cuaca merupakan elemen-elemen iklim yang memberikan pengaruh signifikan terhadap jenis ekosistem dan kehidupan yang berkembang di dalamnya.

Suhu memengaruhi aktivitas biologis, pertumbuhan tanaman, dan perilaku hewan. Di hutan hujan tropis, suhu yang relatif stabil sepanjang tahun mendukung keberlanjutan kehidupan dengan tingkat kelembaban yang tinggi. Sebaliknya, di padang rumput kering, fluktuasi suhu yang besar membentuk komunitas tumbuhan dan hewan yang tahan terhadap kekeringan. Kelembaban udara memainkan peran dalam menjaga hidrasi organisme. Ekosistem gurun, dengan kelembaban udara yang rendah, menuntut adaptasi khusus untuk bertahan hidup.

Curah hujan memengaruhi ketersediaan air, pembentukan sungai, dan perkembangan vegetasi. Hutan hujan tropis yang kaya curah hujan sepanjang tahun menumbuhkan keanekaragaman hayati, sedangkan padang rumput semi-arid dengan curah hujan yang terbatas memiliki tumbuhan dan hewan yang beradaptasi dengan kekeringan.

Pola cuaca, seperti badai atau musim kemarau, juga membentuk ekosistem terestrial. Badai dapat membentuk pola aliran air dan mempengaruhi pertumbuhan tumbuhan tertentu. Sebaliknya, musim kemarau yang panjang dapat menciptakan

kondisi kekeringan, memengaruhi distribusi hewan dan tumbuhan yang mampu beradaptasi.

Contoh konkret dari pengaruh iklim terlihat dalam perbedaan antara hutan hujan tropis dan padang rumput kering. Hutan hujan tropis mendukung kehidupan dengan suhu hangat, curah hujan sepanjang tahun, dan kelembaban tinggi. Di sisi lain, padang rumput kering, dengan suhu ekstrim, musim hujan dan kemarau yang jelas terpisah, mendukung komunitas yang tahan terhadap kekeringan.

Dengan memahami peran iklim, kita dapat merinci distribusi organisme, pola reproduksi, dan evolusi yang membentuk keanekaragaman ekosistem terestrial di seluruh dunia.

2. Tanah

Tanah menjadi tempat berpijak makhluk hidup menjadi penting akan kehadirannya. Sifat-sifat tanah, baik fisika, kimia, maupun biologisnya mempunyai karakter khusus dan kesesuaian makhluk hidup yang unik juga disetiap karakter tanah tersebut. Contohnya adalah jenis dan tekstur tanah, ada yang liat hingga berpasir. Begitu juga jenis tanah yang latosol hingga aluvial. Semuanya mempunyai ciri dan keanekaragaman kehidupan yang berbeda-beda.

Begitu juga dengan kandungan mineral tanah, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, memainkan peran penting dalam menyediakan nutrisi. Tanah yang kaya mineral mendukung pertumbuhan tanaman yang beragam, sementara tanah dengan kandungan mineral rendah mungkin membatasi jenis-jenis tumbuhan tertentu.

Sebagai contoh, tanah lempung subur mendukung tanaman dengan kebutuhan nutrisi tinggi, sementara tanah pasir yang kurang subur cenderung membatasi pertumbuhan jenis-jenis tertentu. Melalui pemahaman terhadap sifat tanah, kita dapat mengidentifikasi adaptasi organisme terhadap lingkungan yang sangat dipengaruhi oleh karakteristik tanah suatu daerah.

Contoh yang lain juga kita bisa menemukan pada pertumbuhan tanaman seperti palem *Pinanga javana* yang tersebar di Gunung Slamet. Palm tersebut tidak ditemukan di semua sisi, hanya

melimpah di sisi selatan Gunung Slamet saja. Ini menunjukkan adanya faktor tanah yang mungkin menjadi salah satu palem tersebut hanya dapat tumbuh di sisi selatan (Zulkarnaen et 2019;2020;2022).

3. Topografi

Faktor Topografi mencakup relief dan kontur lahan yang dimana cakupan tersebut memainkan peran sentral dalam membentuk dinamika ekosistem terestrial. Relief atau bentuk permukaan tanah, dan kontur lahan menjadi faktor utama yang mengatur berbagai proses lingkungan.

Relief (bentuk permukaan tanah) berkontribusi pada pengaturan pola aliran air dalam ekosistem. Daerah datar cenderung memiliki aliran air yang lebih tenang dan stabil, sementara lereng dan daerah berbukit-bukit dapat menciptakan aliran air yang lebih dinamis. Relief juga memengaruhi distribusi tanah, dengan tanah cenderung menumpuk di bagian bawah lereng.

Kontur lahan juga memainkan peran dalam menciptakan perbedaan suhu. Lereng yang menghadap ke utara, misalnya, dapat menerima lebih banyak sinar matahari, menciptakan perbedaan suhu yang dapat membentuk iklim mikro. Hal ini mengarah pada keberagaman ekosistem dan komunitas tanaman yang dapat bertahan di kondisi mikroklimat tersebut. Pegunungan yang tinggi memiliki pengaruh besar terhadap ekosistem di sekitarnya. Selain menciptakan perbedaan iklim mikro, pegunungan juga mempengaruhi distribusi curah hujan. Sisi yang menghadap angin lembap dapat menerima lebih banyak curah hujan, sementara sisi yang berlawanan mungkin menjadi lebih kering.

Dengan kata lain, topografi menciptakan lingkungan yang sangat beragam dalam suatu wilayah. Ini terjadi karena perbedaan topografi dapat mempengaruhi pola iklim lokal, distribusi air, dan perubahan suhu harian. Oleh karena itu, ketika kita mengeksplorasi ekosistem terestrial, pemahaman terhadap topografi memberikan pandangan yang lebih rinci

tentang bagaimana karakteristik fisik suatu wilayah mengarah pada keanekaragaman hayati dan struktur ekosistem.

4. Air

Ketersediaan air dalam tanah menjadi faktor kritis yang membentuk pola distribusi tumbuhan dan hewan dalam ekosistem terestrial. Dinamika air ini sangat memengaruhi adaptasi organisme terhadap kondisi lingkungan di berbagai wilayah geografis.

Ketersediaan air tanah menjadi penentu utama distribusi tumbuhan dan hewan. Pada daerah dengan musim kering, seperti pada padang rumput sabana, organisme yang mampu bertahan dalam kondisi kekeringan akan mendominasi. Tumbuhan yang memiliki sistem akar yang dapat menjangkau kedalaman tanah yang lebih besar atau memiliki adaptasi khusus untuk menyimpan air, misalnya, dapat berhasil tumbuh di lingkungan yang cenderung kering.

Adaptasi hewan terhadap ketersediaan air juga menjadi kunci dalam ekosistem terestrial. Sejumlah spesies hewan telah mengembangkan strategi khusus, seperti kemampuan menyimpan air dalam tubuh atau beraktivitas pada waktu yang lebih dingin dan lembap, untuk menghadapi tantangan musim kering.

Faktor-faktor yang telah dibahas, termasuk sifat fisik tanah, iklim, topografi, dan ketersediaan air, memberikan fondasi yang krusial untuk keberlanjutan ekosistem terestrial. Air berperan sebagai elemen penyatuan dalam banyak interaksi kompleks antara faktor-faktor ini.

Interaksi kompleks antara faktor-faktor abiotik ini menciptakan kondisi yang mendukung keberlanjutan hidup dan reproduksi organisme dalam ekosistem terestrial. Sebagai contoh, distribusi tanaman tertentu dapat dipahami melalui analisis interaksi antara jenis tanah yang ditemukan di suatu wilayah, pola iklim lokal, serta topografi yang memengaruhi pola aliran air dan ketersediaan nutrisi (Iryadi et al. 2020; Garvita et al., 2022).

8.3 Komponen Biologis dalam Ekosistem Terrestrial

8.2.1 Spesies kunci

Spesies kunci atau "keystone species" adalah spesies dalam suatu ekosistem yang memiliki dampak ekologis yang sangat besar, tidak sebanding dengan jumlah atau ukuran fisiknya. Keberadaan atau aktivitas spesies kunci dapat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap struktur dan fungsi keseluruhan ekosistem. Jika spesies kunci hilang/punah dari ekosistem, dapat menyebabkan perubahan yang substansial dan bahkan mengancam keberlanjutan ekosistem itu sendiri.

Keystone species sering berada di puncak rantai makanan, memegang kendali terhadap populasi organisme di tingkat trofik yang lebih rendah. Keberadaan mereka mengatur keseimbangan trofik dan mencegah dominasi satu kelompok organisme. Contohnya seperti harimau (*Panthera tigris*) yang memiliki peran penting dalam mengendalikan populasi herbivora, seperti rusa dan lainnya. Kehadirannya membantu menjaga keseimbangan trofik di ekosistem hutan (Mehta et al., 2007). Namun, ada juga hewan kecil seperti lebah madu yang dapat juga dikatakan spesies kunci karena memainkan peran kunci dalam penyerbukan tanaman, mendukung reproduksi tanaman berbunga dan menjaga keberlanjutan ekosistem pertanian (Fadijah, 2023).

Ada juga dalam ekosistem terdapat Spesies endemik, yaitu spesies yang keberadaannya yang unik di wilayah tertentu, turut membentuk esensi dari ekosistem terrestrial. Perlindungan terhadap spesies ini tidak hanya menjaga keunikan setiap daerah tetapi juga memainkan peran kunci dalam menjaga keseimbangan ekosistem secara keseluruhan (Rinandio et al., 2022).



Gambar 8.2. Tumbuhan *Ficus ribes* di Taman Nasional Gunung Ciremai

Dari sisi tumbuhan, ada juga Beringin (*Ficus* spp) yang menjadi spesies kunci karena menyediakan habitat dan makanan untuk berbagai jenis organisme (Gambar xx). Banyak hewan, termasuk burung, mamalia, dan serangga, bergantung pada buah, daun, dan struktur pohon beringin. Bahkan mampu memberikan dampak ekologis lainnya seperti menciptakan iklim mikro (Siappa et al., 2016).

8.2.2 Peran Populasi dalam Keseimbangan Ekosistem

Ekosistem terrestrial, sebagai keseimbangan dinamis antara berbagai bentuk kehidupan, menyajikan lanskap yang dipenuhi dengan interaksi kompleks. Populasi predator, seperti singa, serigala, atau harimau, memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem ini dengan mengendalikan jumlah herbivora seperti rusa, kelinci, atau zebra (Rahmawati, 2021). Melalui regulasi ini, populasi predator membantu mencegah degradasi vegetasi yang berlebihan dan mendukung kelangsungan hidup ekosistem terrestrial.

Di sisi lain, mamalia herbivora seperti gajah atau kuda liar memberikan pengaruh signifikan terhadap struktur hutan dan padang rumput. Pola makan dan aktivitas mereka tidak hanya

membentuk lanskap fisik, tetapi juga menciptakan mikrohabitat yang mendukung berbagai spesies tanaman dan hewan. Dengan demikian, keberagaman vegetasi dipertahankan, dan ekosistem mendapat manfaat dari adanya variasi lingkungan.

Siklus nutrisi dalam ekosistem terestrial diatur oleh populasi organisme tanah, seperti bakteri, jamur, dan cacing tanah. Proses dekomposisi dan mineralisasi yang mereka lakukan memainkan peran kunci dalam mempertahankan ketersediaan nutrisi untuk tanaman (Hasyimuddin et al., 2017). Dengan demikian, populasi ini secara tidak langsung menjaga kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan vegetasi yang sehat.

Tumbuhan dan organisme tanah memiliki dampak yang signifikan pada sumber air di ekosistem terestrial. Kemampuan tumbuhan menyerap air dan peran organisme tanah dalam meningkatkan struktur tanah membantu menjaga kualitas air dan mengatur aliran air, menghindari erosi tanah yang dapat merugikan.

8.4 Bentuk-bentuk bentang alam Ekosistem Terestrial

Ekosistem terestrial mencakup beragam bentang alam yang memengaruhi distribusi organisme hidup di daratan. Berikut adalah beberapa bentuk-bentuk bentang alam dalam ekosistem terestrial:

1. Hutan

Hutan Hujan Tropis, terletak di daerah tropis, menandai keindahan alam dengan curah hujan tinggi dan keanekaragaman hayati yang menakjubkan. Pohon-pohon tinggi membentuk kanopi lebat, menciptakan rumah bagi beragam spesies tanaman dan hewan. Fungsi pentingnya meliputi kontribusi pada mitigasi perubahan iklim melalui penyerapan karbon dan produksi oksigen serta potensi sumber obat baru.

Di sisi lain, Hutan Boreal, yang mendominasi wilayah subarktik, menampilkan keunikan dengan pohon konifer yang tahan suhu rendah. Selain menyimpan sejumlah besar karbon, hutan ini juga berperan dalam menjaga stabilitas iklim regional. Meskipun terletak di ekstrem iklim, keduanya, Hutan Hujan Tropis dan Hutan Boreal, memberikan kontribusi vital pada

keberlanjutan ekosistem global dan menyimpan keajaiban keanekaragaman alam yang perlu dijaga dengan cermat.

2. Padang Rumput

Padang rumput menjadi representasi keanekaragaman lanskap, dan dua jenis utamanya, Savana dan Prairie, menunjukkan karakteristik unik yang membedakan mereka. Savana, yang tersebar di daerah tropis dan subtropis, memukau dengan padang rumput yang ditemani oleh pohon-pohon dan semak tersebar. Keindahan savana terletak pada perpaduan antara hamparan rumput yang luas dan pohon-pohon yang menghiasi cakrawala, menciptakan lanskap yang sekaligus lapang dan memikat. Kondisi iklim tropis memberikan padang rumput ini kelembaban yang cukup, memungkinkan pertumbuhan pohon dan semak yang bersifat sporadis di seluruh wilayah ini.

3. Gurun

Gurun Panas, seperti Gurun Sahara di Afrika, adalah lanskap yang ditandai oleh kondisi ekstrem, yaitu daerah yang sangat kering dengan sedikit sekali vegetasi. Kehidupan di gurun panas ditantang oleh suhu yang sangat tinggi dan kurangnya air. Gurun panas sering kali memiliki pasir yang panas, batu-batu besar, dan langit biru yang luas. Meskipun terlihat keras dan tandus, gurun panas memiliki keanggunan tersendiri dengan bentang pasir yang bergelombang dan kadang-kadang dihiasi oleh formasi batu unik. Tanaman dan hewan di gurun panas telah berkembang untuk bertahan hidup dalam kondisi yang ekstrem ini, menunjukkan adaptasi yang luar biasa.

Di sisi lain, Gurun Kutub menawarkan lanskap yang sepenuhnya berbeda. Terletak di daerah kutub, gurun ini memiliki kondisi dingin dan kering yang mencolok. Suhu yang sangat rendah dan minimnya presipitasi menjadikan gurun kutub terutama didominasi oleh es dan salju. Hidup di gurun kutub menuntut adaptasi yang unik, dan beberapa spesies hewan, seperti beruang kutub dan anjing laut, telah berkembang untuk bertahan hidup dalam suhu yang rendah ini. Gurun kutub memiliki kecantikan yang khas, dengan lapisan es yang tak terbatas membentang ke langit dan menciptakan panorama yang megah namun dingin.

4. Tundra

Tundra adalah salah satu jenis ekosistem yang ditandai oleh kondisi lingkungan yang keras, seperti suhu rendah dan tanah yang beku sebagian besar waktu. Terdapat dua jenis dari ekosistem tundra, yaitu Tundra Arctic dan Tundra Alpine. Tundra Arctic terletak di wilayah kutub utara, sementara Tundra Alpine terdapat di ketinggian pegunungan dengan suhu yang rendah.

Ciri khas dari ekosistem tundra meliputi tanah yang beku sepanjang tahun, vegetasi yang rendah, dan adanya lapisan es permukaan tanah yang disebut "permafrost" (tanah beku abadi). Kondisi ini menciptakan lingkungan yang menantang bagi kehidupan, namun di dalamnya dapat ditemukan spesies-spesies tumbuhan dan hewan yang telah beradaptasi untuk bertahan dalam keadaan dingin yang ekstrem. Tundra memiliki peran penting dalam pelestarian biodiversitas dan memiliki karakteristik yang unik dalam struktur ekosistemnya.



Gambar 8.3. Ekosistem tundra (sumber: Pixabay.com)

DAFTAR PUSTAKA

- Darmayani, S., Juni atmoko, R., Martiansyah, I., Puspaningrum, D., Zulkarnaen, R.N., Nugroho, E.D., Pulungan, N.A., Aldyza, N., Rohman, A., Nursia, N. and HarirI, M.R., 2022. Dasar-Dasar Konservasi. CV. Penerbit Widina.
- Fadiah, L.H., 2023. Peran Lebah Madu Klanceng (*Trigona* Sp) Dalam Mendukung Kesejahteraan Manusia Dan Lingkungan. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Hewani (Jurrih)*, 2(1), Pp.44-55.
- Hasyimuddin, H., Bulan, S., & Usman, A. A. (2017). Peran Ekologis Serangga Tanah Di Perkebunan Patallasang Kecamatan Patallasang Kabupaten Gowa Sulawesi Selatan. In *Prosiding Seminar Nasional Biologi* (Vol. 3, No. 1).
- Hunter Jr, M.L. and Gibbs, J.P. 2006. Fundamentals of conservation biology. John Wiley & Sons.
- Helmanto, H., Primananda, E., Kusuma, Y.W.C., Robiansyah, I. and Zulkarnaen, R.N. 2023. Possibly Extinct or Data Deficient? A challenge for conservation status assessment based on single locality: Insights from *Beilschmiedia lancifolia* Miq. *Acta Botanica Brasilica*, 37, p.e20220255.
- Indrawan, M., Primack, R.B. and Supriatna, J. 2007. Biologi Konservasi: Edisi Revisi. Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Indrawan, M., Primack, R.B. And Supriatna, J., 2007. *Biologi Konservasi: Edisi Revisi*. Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Iryadi, R., & Yudaputra, A. 2020. The effectiveness of landscape management of Gunung Halimun Salak National Park. In *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia* (Vol. 6, No. 1).
- Lang, J. M. & Benbow, M. E. 2013. Species Interactions And Competition. *Nature Education Knowledge* 4(4):8
- Mehta, S.V., Polasky, S., Kissui, B.M., Rentsch, D., Schmitt, J., & Strauss, M.K. 2007. Can Conservation And Profits Co-Exist?: The Case Of Lion Hunting.

- Rahmawati, S.N. 2021. Mengapa Keberadaan Hewan Predator Bisa Menjaga Keanekaragaman Hayati. <https://Tekno.Tempo.Co/Read/1545118/Mengapa-Keberadaan-Hewan-Predator-Bisa-Menjaga-Keanekaragaman-Hayati>. Diakses 12 November 2023.
- Rinandio, D.S., Helmanto, H., Zulkarnaen, R.N., Primananda, E., Hamidi, A. And Robiansyah, I. 2022. Endemic Plants of Java Island, Indonesia: A Dataset. *Biodiversity Data Journal*, 10.
- Robiansyah, I., Primananda, E., Zulkarnaen, R.N., Helmanto, H., Kusuma, Y.W.C. and Yudaputra, A. 2023. Climate Change Impact on Medicinal Plants: An Insight from the IUCN Red List of Threatened Species. In Medicinal Plants: Biodiversity, Biotechnology and Conservation (pp. 115-131). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Siappa, H., Hikmat, A. And Kartono, A.P. 2016. Komposisi Vegetasi, Pola Sebaran Dan Faktor Habitat Ficus Magnoliifolia (Nunu Pisang) Di Hutan Pangale, Desa Toro, Sulawesi Tengah. *Buletin Kebun Raya*, 19(1), Pp.33-46.
- Sukarya, D.G., Witono, J.R. dkk. 2017. Kebun Raya Bogor: dua abad menyemai tumbuhan bumi di Indonesia: two centuries of sowing the earth's plant diversity in Indonesia. Sukarya.
- Supriatna, J. 2018. Konservasi Biodiversitas: Teori dan Praktik di Indonesia. Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Zulkarnaen, R.N., Helmanto, H., Fikriyya, N. And Witono, J.R. 2022. Palm Species Diversity On Mount Slamet, Central Java, Indonesia. In *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science* (Vol. 976, No. 1, P. 012048). Iop Publishing.
- Zulkarnaen, R.N., Helmanto, H., Primananda, E., Kusuma, Y.W.C. and Robiansyah, I. 2023. Population status and conservation of the threatened and endemic tree *Vatica javanica subsp. javanica* (Dipterocarpaceae). *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*.
- Zulkarnaen, R.N., Helmanto, H., Wihermanto, W., Primananda, E., Robiansyah, I. And Kusuma, Y.W.C. 2022. Population Study Of Endemic Java Palm *Pinanga javana* In Mount Ungaran, Semarang, Central Java, Indonesia. *Biosaintifika: Journal Of Biology & Biology Education*, 14(1), Pp.48-56.

- Zulkarnaen, R.N., Helmanto, H., Wihermanto, W., Primananda, E., Robiansyah, I. and Kusuma, Y.W.C. 2022. Population Study of Endemic Java Palm *Pinanga javana* in Mount Ungaran, Semarang, Central Java, Indonesia. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 14(1), pp.48-56.
- Zulkarnaen, R.N., Nisyawati, N. And Witono, J.R. 2019. Population Study And Habitat Preferences Of Pinang Jawa (*Pinanga javana*) In Mt. Slamet, Central Java, Indonesia. *Biodiversitas Journal Of Biological Diversity*, 20(3), Pp.712-718.
- Zulkarnaen, R.N., Nisyawati, N. And Witono, J.R. 2020, April. The Growth And Distribution Pattern Of Endemic Java Palm (*Pinanga javana* Blume) In Mt. Slamet, Central Java, Indonesia. In *Aip Conference Proceedings* (Vol. 2231, No. 1). Aip Publishing.

BAB 9

EKOSISTEM AIR TAWAR

Oleh Nurcahyo Widyodaru Saputro

Pengantar mendalam terhadap ekosistem air tawar menjadi prasyarat esensial dalam pemahaman dan eksplorasi kekompleksan serta keindahan lingkungan ini. Fokus khusus pada ekosistem air tawar, sebagai suatu kesatuan komunitas dalam lingkungan air tawar, memberikan gambaran yang komprehensif terkait interaksi yang unik di antara perairan mengalir (lotik) seperti sungai dan perairan menggenang (lentic) seperti danau, waduk, rawa, dan kolam. Bab ini bertujuan untuk menyelidiki dan mengurai struktur ekosistem air tawar, memberikan penjelasan rinci mengenai dua komponen pokoknya, yakni komponen biotik yang mencakup tumbuhan air, biota air, dan pengurai, serta komponen abiotik yang melibatkan faktor-faktor seperti suhu air, pH air, kecepatan aliran air, dan kandungan nutrisi. Dengan demikian, bab ini mengundang pembaca untuk menjelajahi kekayaan dan keragaman ekosistem air tawar dengan pendekatan formal dan mendalam.

9.1 Komponen Utama Ekosistem Air Tawar

Komponen utama dalam ekosistem air tawar mencakup berbagai unsur yang saling terkait, membentuk jaringan kehidupan yang kompleks di dalam perairan tawar. Salah satu elemen utama adalah air itu sendiri, yang berfungsi sebagai medium bagi kehidupan dalam ekosistem ini. Kualitas air sangat penting karena berpengaruh pada organisme dan proses ekologis dalam air (Wantasen, 2014). Selain air, ekosistem air tawar juga dihuni oleh beragam organisme, seperti ikan, invertebrata, dan tumbuhan air. Keanekaragaman hayati dari berbagai spesies ini adalah salah satu daya tarik utama dari ekosistem air tawar. Selain itu, peran penting dimiliki oleh vegetasi riparian, tumbuhan yang tumbuh di sepanjang sungai dan danau, yang memberikan perlindungan dan menyediakan tempat berlindung bagi berbagai jenis organisme air

tawar. Semua komponen ini bekerja bersama-sama untuk menciptakan dinamika yang unik dalam ekosistem air tawar, menjadikannya lingkungan yang sangat penting untuk dijaga dan dipahami. Terdapat 3 komponen utama dalam ekosistem air tawar : Air, Organisme & Vegetasi.

9.1.1 Air sebagai medium kehidupan.

Air adalah elemen utama yang membentuk landasan kehidupan dalam ekosistem air tawar (Bănăduc *et al.*, 2022). Sebagai medium yang esensial, air memfasilitasi berbagai proses biologis dan ekologis yang memungkinkan beragam organisme untuk bertahan dan berkembang. Kualitas air, termasuk suhu, tingkat oksigen terlarut, pH, dan komposisi kimia lainnya, sangat memengaruhi jenis-jenis organisme yang dapat hidup di dalamnya (Abu Shmeis, 2018). Misalnya, sejumlah organisme, seperti ikan, memerlukan tingkat oksigen yang tinggi, sementara organisme lain, seperti plankton, mampu beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan. Air juga berperan sebagai media perantara untuk transportasi nutrisi, sekaligus sebagai tempat di mana interaksi makanan terjadi dalam rantai makanan ekosistem air tawar (Durance *et al.*, 2016). Oleh karena itu, air bukan hanya sebagai medium kehidupan, tetapi juga sebagai faktor penentu yang mengatur dinamika dan keseimbangan ekosistem ini. Kualitas air dan keberlanjutannya sangat penting untuk menjaga kehidupan dalam ekosistem air tawar.

Kualitas air adalah aspek penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem air tawar. Kualitas air merujuk pada karakteristik fisik, kimia, dan biologis air yang dapat memengaruhi organisme yang hidup di dalamnya serta proses ekologis yang terjadi (Omer and Omer, 2019). Sejumlah faktor memengaruhi kualitas air, di antaranya:

- 1. Suhu Air** : Suhu air memainkan peran penting dalam mengatur metabolisme organisme air tawar. Perubahan suhu yang signifikan dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perilaku organisme, serta dapat menyebabkan fluktuasi populasi.

2. **Kadar Oksigen Terlarut** : Oksigen sangat penting bagi kehidupan dalam air. Organisme air tawar, terutama ikan, memerlukan kadar oksigen yang cukup untuk bernapas. Kadar oksigen yang rendah dapat mengganggu kesehatan organisme air.
3. **pH Air** : pH mengacu pada tingkat keasaman atau kebasaan air. Perubahan pH dapat mempengaruhi kelarutan senyawa kimia dalam air dan berdampak pada organisme air tawar.
4. **Bahan Kimia dan Polutan** : Pencemaran air oleh bahan kimia seperti logam berat, pestisida, dan zat-zat kimia lainnya dapat merusak kualitas air dan berdampak negatif pada organisme air tawar.
5. **Nutrien** : Keseimbangan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor penting dalam menjaga ekosistem air tawar yang sehat. Keterlaluannya nutrisi dapat memicu pertumbuhan alga yang berlebihan, yang dapat menyebabkan masalah eutrofikasi.
6. **Sumber Daya Air** : Kualitas air juga dipengaruhi oleh sumber daya air yang mengalir ke dalamnya, seperti sungai dan aliran air lainnya. Aktivitas manusia di wilayah tangkapan air dapat membawa polutan ke ekosistem air tawar.
7. **Tingkat Pencahayaan Matahari** : Intensitas cahaya matahari memengaruhi pertumbuhan tumbuhan air dan produktivitas ekosistem air tawar. Organisme yang hidup di lapisan air lebih dalam mungkin lebih bergantung pada sumber cahaya yang lebih rendah.

Memahami faktor-faktor yang memengaruhi kualitas air dan bagaimana faktor-faktor ini berinteraksi adalah kunci dalam menjaga keberlanjutan ekosistem air tawar. Upaya untuk menjaga dan memperbaiki kualitas air, melalui pengelolaan yang bijaksana dan pemantauan yang ketat, penting untuk menjaga ekosistem air tawar yang sehat dan beragam.

9.1.2 Organisme dan Keanekaragaman Hayati.

Organisme dan keanekaragaman hayati menjadi pilar esensial dalam melihat dan memahami kompleksitas ekosistem air

tawar (Vári *et al.*, 2021). Ekosistem ini menyajikan beragam makhluk hidup, mulai dari ikan dan invertebrata yang berenang di aliran sungai hingga tumbuhan air yang menjulang di tepian danau. Keanekaragaman ini menciptakan suatu keseimbangan dinamis di dalam ekosistem, di mana setiap spesies memegang peran khususnya. Ikan-ikan yang lincah menjadi predator, mengatur populasi invertebrata, sedangkan tumbuhan air mengoksidasi air dan menyediakan tempat berlindung bagi organisme kecil. Di sisi lain, mikroorganisme seperti bakteri dan alga menjadi penyelenggara siklus nutrisi yang vital. Semua interaksi ini, membentuk jaring makanan yang kompleks, memastikan bahwa setiap organisme memiliki dampak langsung terhadap stabilitas ekosistem. Keanekaragaman hayati juga memberikan ketahanan terhadap perubahan lingkungan, memungkinkan ekosistem untuk pulih dari gangguan atau perubahan alamiah (Zhu, Ma and Vasiliev, 2022). Oleh karena itu, eksplorasi terhadap organisme dan keanekaragaman hayati di ekosistem air tawar bukan hanya mendalam, tetapi juga kritis dalam rangka menjaga keberlanjutan dan kelestarian ekosistem air yang sangat berharga ini.

9.1.3 Vegetasi Riparian

Vegetasi riparian, yang tumbuh di sepanjang tepian sungai, danau, atau saluran air lainnya, memegang peran integral dalam ekosistem air tawar (Jeli *et al.*, 2019). Menjadi perbatasan antara daratan dan perairan, vegetasi ini memberikan kontribusi yang signifikan terhadap keberlanjutan ekosistem. Fungsi utamanya termasuk pencegahan erosi tanah dengan akarnya yang kuat, memperbaiki kualitas air dengan menyaring sedimen dan menyerap nutrisi berlebih, serta menyediakan habitat yang kaya bagi berbagai organisme air dan satwa liar. Tanaman riparian, seperti eceng gondok, bambu air, dan berbagai jenis pohon, bukan hanya memberikan penopang fisik, tetapi juga berperan dalam mengurangi dampak banjir dengan menyerap air berlebih pada saat curah hujan yang tinggi (Qin *et al.*, 2020). Selain itu, vegetasi riparian mendukung biodiversitas dengan menyediakan tempat bertelur bagi ikan, memberikan tempat berlindung bagi serangga air, dan menjadi rumah bagi berbagai spesies burung air. Oleh karena itu,

pelestarian dan pemulihan vegetasi riparian menjadi langkah kunci dalam menjaga keseimbangan ekosistem air tawar, serta dalam memitigasi dampak aktivitas manusia yang dapat mengancam kesehatan dan keberlanjutan ekosistem ini.

9.2 Proses dan Dinamika Ekosistem

Proses dan dinamika ekosistem air tawar mencakup serangkaian mekanisme kompleks yang mengatur keseluruhan keseimbangan dan keberlanjutan ekosistem ini. Salah satu proses kunci adalah siklus nutrisi, yang melibatkan perpindahan unsur-unsur penting seperti karbon, nitrogen, dan fosfor di dalam air dan organisme hidup. Siklus ini memainkan peran vital dalam menyediakan sumber daya esensial bagi kehidupan di dalam ekosistem air tawar, mengatur pertumbuhan tumbuhan dan mengendalikan populasi organisme lainnya.

Interaksi makhluk hidup menjadi elemen dinamis dalam ekosistem ini. Predasi, kompetisi, simbiosis, dan berbagai bentuk interaksi ekologi lainnya mempengaruhi dinamika populasi dan struktur ekosistem secara keseluruhan. Masing-masing organisme, mulai dari fitoplankton hingga ikan pemangsa, memiliki peran dan fungsi spesifik dalam rantai makanan, menciptakan keseimbangan yang rapuh namun vital.

Perubahan musiman dan lingkungan juga memberikan sumbangan signifikan terhadap dinamika ekosistem air tawar. Fluktuasi suhu, curah hujan, dan durasi cahaya matahari memengaruhi reproduksi, migrasi, dan perilaku organisme. Misalnya, musim kemarau dapat mengurangi aliran air dan menyebabkan konsentrasi nutrisi yang tinggi, sementara musim hujan dapat menciptakan banjir yang mempengaruhi struktur habitat.

Pemahaman menyeluruh terhadap proses dan dinamika ini adalah kunci dalam menjaga keberlanjutan ekosistem air tawar. Upaya untuk melindungi dan memelihara siklus nutrisi yang seimbang, menghormati interaksi ekologi yang kompleks, dan memahami perubahan musiman dan lingkungan adalah langkah kritis menuju pelestarian ekosistem air tawar yang sehat dan berkelanjutan.

Proses dan dinamika ekosistem air tawar mencakup serangkaian mekanisme kompleks yang mengatur keseluruhan keseimbangan dan keberlanjutan ekosistem ini. Salah satu proses kunci adalah siklus nutrisi, yang melibatkan perpindahan unsur-unsur penting seperti karbon, nitrogen, dan fosfor di dalam air dan organisme hidup. Siklus ini memainkan peran vital dalam menyediakan sumber daya esensial bagi kehidupan di dalam ekosistem air tawar, mengatur pertumbuhan tumbuhan dan mengendalikan populasi organisme lainnya.

9.2.1 Siklus Nutrien

Siklus nutrisi dalam ekosistem air tawar merupakan mekanisme fundamental yang mengatur pergerakan dan perubahan unsur-unsur penting seperti karbon, nitrogen, dan fosfor (Vanni, 2002). Proses ini menjadi tulang punggung bagi dinamika biokimia dalam ekosistem, memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan dan keberlanjutan lingkungan air tawar. Siklus dimulai dengan masuknya nutrisi ke dalam ekosistem melalui sumber daya air, udara, atau tanah sekitar. Nutrien ini kemudian diserap oleh tumbuhan air, seperti alga dan tanaman air, melalui proses fotosintesis.

Selanjutnya, nutrisi tersebut dapat berpindah ke organisme konsumen tingkat pertama, seperti zooplankton dan ikan kecil, melalui rantai makanan. Saat organisme ini hidup dan berkembang biak, mereka melepaskan nutrisi kembali ke lingkungan melalui proses respirasi, ekskresi, dan dekomposisi. Proses dekomposisi oleh bakteri dan fungi mengurai sisa-sisa organisme menjadi bahan organik yang dapat diambil oleh tumbuhan air kembali, menutup siklus nutrisi.

Keseimbangan yang tepat dari siklus nutrisi ini penting untuk menjaga produktivitas dan kesehatan ekosistem air tawar (Naiman *et al.*, 2002). Ketidakseimbangan, seperti eutrofikasi yang disebabkan oleh peningkatan kadar nutrisi yang berlebihan, dapat menyebabkan pertumbuhan alga yang tidak terkendali, mengganggu keseimbangan ekosistem dan mengancam keberlanjutan sumber daya air (Wurtsbaugh, Paerl and Dodds, 2019). Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam terhadap siklus

nutrien menjadi kunci dalam upaya pelestarian dan pengelolaan ekosistem air tawar yang berkelanjutan.

Peran siklus nutrien, khususnya siklus karbon, nitrogen, dan fosfor, sangat sentral dalam menjaga dinamika dan keseimbangan ekosistem air tawar (Yang *et al.*, 2021). Siklus-siklus ini tidak hanya membentuk dasar bagi kelangsungan hidup organisme dalam perairan tawar, tetapi juga memberikan sumbangan yang signifikan terhadap proses-proses ekologis dan biokimia.

- 1. Siklus Karbon:** Siklus karbon di dalam ekosistem air tawar dimulai dengan masuknya karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer ke dalam air melalui proses difusi. Tumbuhan air, terutama alga dan vegetasi riparian, menggunakan karbon dioksida ini untuk fotosintesis, menghasilkan oksigen dan karbohidrat. Organisme konsumen seperti zooplankton dan ikan, kemudian, mengonsumsi tumbuhan air tersebut. Saat organisme ini mati atau mengalami respirasi, karbon yang terkandung dalam jaring makanan dilepaskan kembali ke dalam air. Proses dekomposisi oleh bakteri dan fungi di dalam tanah dan air merinci bahan organik menjadi karbon dioksida, menutup siklus karbon.
- 2. Siklus Nitrogen:** Siklus nitrogen di ekosistem air tawar melibatkan serangkaian transformasi nitrogen dari satu bentuk ke bentuk lain. Nitrogen diubah menjadi amonium (NH_4^+) oleh bakteri nitrifikasi, kemudian menjadi nitrat (NO_3^-) yang dapat diserap oleh tumbuhan air. Hewan konsumen tingkat pertama, seperti ikan dan serangga air, mendapatkan nitrogen melalui konsumsi tumbuhan air. Proses ekskresi hewan dan dekomposisi sisa-sisa organisme membentuk amonium kembali, menyelesaikan siklus ini. Nitrogen yang ditemukan dalam senyawa protein dan asam nukleat memainkan peran kunci dalam pertumbuhan dan perkembangan organisme.
- 3. Siklus Fosfor:** Siklus fosfor dalam ekosistem air tawar umumnya dimulai dari batuan fosfat yang terurai oleh erosi dan cuaca, menghasilkan ion fosfat (PO_4^{3-}). Tumbuhan air menyerap fosfat ini dari air dan tanah, kemudian dikonsumsi oleh organisme konsumen tingkat pertama.

Sisa-sisa organisme ini kemudian mengendap di dasar perairan atau di dalam sedimen, membentuk endapan fosfor yang kemudian dapat diangkat kembali oleh proses geologis atau dalam proses alami lainnya. Fosfor adalah unsur penting dalam pembentukan asam nukleat dan ATP, menyediakan sumber energi yang diperlukan untuk berbagai aktivitas biologis. Siklus-siklus ini bukan hanya memberikan unsur-unsur esensial bagi kehidupan di dalam ekosistem air tawar, tetapi juga memainkan peran penting dalam mengatur produktivitas, struktur trofik, dan keseluruhan kesehatan ekosistem. Pemahaman yang mendalam tentang dinamika dan interaksi dalam siklus-siklus nutrisi ini menjadi landasan bagi upaya pelestarian dan pengelolaan ekosistem air tawar yang berkelanjutan.

Perubahan iklim global memiliki dampak yang signifikan terhadap siklus nutrisi di ekosistem air tawar, mengubah pola distribusi, ketersediaan, dan dinamika unsur-unsur esensial seperti karbon, nitrogen, dan fosfor (Kernan, Battarbee and Moss, 2010). Perubahan iklim mencakup perubahan suhu, pola curah hujan, dan intensitas kejadian cuaca ekstrem, yang semuanya dapat memengaruhi siklus nutrisi dengan berbagai cara, diantaranya :

- 1. Peningkatan Suhu Air:** Peningkatan suhu air di ekosistem air tawar dapat mempercepat laju reaksi kimia dalam siklus nutrisi. Proses-proses seperti dekomposisi bahan organik dan reaksi kimia yang terlibat dalam siklus nitrogen dapat menjadi lebih cepat, mengubah dinamika dan ketersediaan nutrisi bagi organisme air tawar. Hal ini dapat berdampak pada pertumbuhan organisme dan struktur trofik dalam ekosistem.
- 2. Perubahan Pola Curah Hujan:** Pola perubahan curah hujan dapat menyebabkan perubahan dalam aliran sungai dan tingkat air, memengaruhi transportasi dan distribusi nutrisi. Banjir yang seringkali terjadi akibat hujan yang intens dapat membawa lebih banyak nutrisi dari tanah ke dalam perairan tawar, memicu eutrofikasi dan

menyebabkan peningkatan populasi alga yang tidak diinginkan.

3. Intensifikasi Siklus Ekstrem: Kejadian cuaca ekstrem seperti badai tropis atau kekeringan yang lebih parah dapat memicu peristiwa luar biasa dalam siklus nutrisi. Badai dapat merusak ekosistem air tawar dengan membawa lumpur, limbah, dan nutrisi dari daratan ke perairan, sementara kekeringan dapat meningkatkan konsentrasi nutrisi karena berkurangnya aliran air yang dapat "membersihkan" ekosistem.

4. Perubahan Ketersediaan Nutrien: Perubahan iklim juga dapat memengaruhi sumber daya alam seperti batuan fosfat atau endapan nutrisi di dasar perairan. Perubahan ini dapat mempengaruhi ketersediaan nutrisi bagi tumbuhan air dan organisme lainnya, mengubah dinamika pertumbuhan dan distribusi populasi.

Pentingnya memahami dampak perubahan iklim pada siklus nutrisi ini tidak hanya terkait dengan ekosistem air tawar itu sendiri, tetapi juga dengan kesehatan dan keberlanjutan sumber daya air dan lingkungan secara keseluruhan (Cantonati *et al.*, 2020). Upaya mitigasi perubahan iklim dan adaptasi dalam pengelolaan ekosistem air tawar menjadi esensial untuk memitigasi potensi dampak negatif dan mempertahankan keberlanjutan ekosistem ini di masa mendatang.

9.2.2 Interaksi Makhluk Hidup

Interaksi makhluk hidup dalam konteks ekosistem air tawar menciptakan jaringan hubungan ekologi yang kompleks dan dinamis, memainkan peran kunci dalam membentuk struktur dan fungsi ekosistem tersebut (Silknetter *et al.*, 2020). Studi tentang hubungan ekologi di dalam perairan tawar membuka cakrawala pemahaman terhadap bagaimana organisme saling mempengaruhi, berkompetisi, dan bekerja sama dalam mempertahankan keseimbangan lingkungan. Beberapa bentuk interaksi yang memainkan peran penting dalam ekosistem air tawar termasuk:

1. **Predasi:** Interaksi predator-mangsa menjadi salah satu aspek paling mencolok dalam ekosistem air tawar. Ikan predator, misalnya, memangsa plankton atau ikan kecil, mengontrol populasi mangsa dan memelihara keseimbangan dalam rantai makanan. Ini adalah mekanisme kontrol alami yang memastikan kelimpahan dan keberlanjutan sumber daya perairan.
2. **Kompetisi:** Persaingan antarorganisme, baik itu untuk sumber daya seperti makanan, tempat hidup, atau pasangan kawin, memainkan peran penting dalam struktur komunitas ekosistem air tawar. Tumbuhan air bersaing untuk mendapatkan sinar matahari dan nutrisi, sementara ikan bersaing untuk mendapatkan makanan. Keseimbangan antara interaksi ini menciptakan keragaman spesies dan struktur komunitas.
3. **Simbiosis:** Hubungan simbiotik, baik mutualisme (di mana dua spesies saling menguntungkan) maupun parasitisme (di mana satu spesies mendapat manfaat sedangkan yang lain dirugikan), menyentuh setiap lapisan ekosistem air tawar. Contohnya, hubungan mutualisme antara beberapa jenis tumbuhan air dan bakteri rhizobia dapat meningkatkan ketersediaan nitrogen dalam air, memberikan manfaat bagi kedua pihak.
4. **Komensalisme:** Interaksi komensalisme, di mana satu spesies mendapat manfaat tanpa memberikan dampak pada spesies lain, juga dapat terjadi. Beberapa ikan, misalnya, dapat mengikuti gerakan seekor hewan besar seperti lumba-lumba tanpa memberikan efek apapun pada lumba-lumba tersebut.
5. **Kompleksitas Rantai Makanan:** Studi ekologi air tawar juga memfokuskan perhatian pada bagaimana berbagai organisme terhubung dalam rantai makanan dan jaring makanan. Predator, konsumen, dan produsen membentuk hierarki struktur makanan, dan ketidakseimbangan dalam satu elemen rantai makanan dapat berdampak signifikan pada semua lapisan ekosistem.

Melalui pemahaman interaksi makhluk hidup ini, studi ekologi air tawar memberikan wawasan yang mendalam tentang kompleksitas dan dinamika ekosistem, yang pada gilirannya mendukung upaya pelestarian dan pengelolaan sumber daya air tawar yang berkelanjutan.

9.2.3 Perubahan Musiman dan Lingkungan

Perubahan musiman dan lingkungan memainkan peran utama dalam membentuk dinamika dan respons ekosistem air tawar. Variabilitas cuaca, perubahan suhu, musim hujan dan kemarau, serta faktor-faktor lingkungan lainnya menjadi elemen-elemen yang sangat mempengaruhi struktur dan fungsi ekosistem tersebut.

1. **Dampak Musim:** Musim yang berubah membawa konsekuensi signifikan pada ekosistem air tawar. Pergantian antara musim kemarau dan musim hujan dapat mempengaruhi aliran air, tingkat air, dan suhu air. Di musim hujan, aliran sungai dapat meningkat, mengangkat nutrisi dan sedimen dari daratan ke dalam perairan, menciptakan kondisi lingkungan yang berbeda dan memicu respons organisme air tawar. Sebaliknya, musim kemarau dapat menyebabkan penurunan tingkat air, mengubah habitat dan mengarah pada konsentrasi nutrisi yang lebih tinggi.
2. **Variabilitas Curah Hujan:** Curah hujan yang bervariasi memiliki dampak langsung pada ekosistem air tawar. Hujan yang intens dapat menyebabkan banjir, membawa lebih banyak nutrisi, sedimen, dan bahan organik ke dalam perairan. Sementara itu, kurangnya curah hujan dapat mengakibatkan penurunan aliran sungai dan peningkatan konsentrasi nutrisi, yang pada gilirannya dapat memicu masalah eutrofikasi dan pertumbuhan alga yang berlebihan.
3. **Variabilitas Suhu Air:** Perubahan suhu air yang terkait dengan perubahan musiman juga mempengaruhi organisme air tawar. Sejumlah organisme memiliki preferensi suhu tertentu untuk berkembang biak, mencari makanan, dan berkembang hidup. Kenaikan suhu dapat mempercepat laju

metabolisme, pertumbuhan, dan reproduksi, sementara penurunan suhu dapat memperlambat proses-proses ini.

4. **Perubahan Habitat:** Variabilitas musiman dapat mengubah sifat dan struktur habitat ekosistem air tawar. Misalnya, perubahan tingkat air dapat mempengaruhi keberlanjutan vegetasi riparian, yang menciptakan tempat berlindung bagi banyak organisme. Penurunan tingkat air juga dapat mengeringkan kolam air dan rawa, mengubah ekosistem perairan dangkal yang menjadi tempat reproduksi bagi banyak spesies ikan dan amfibi.
5. **Peningkatan Variabilitas Lingkungan:** Variabilitas lingkungan yang meningkat, terutama akibat perubahan iklim global, dapat menciptakan tekanan tambahan pada ekosistem air tawar. Peningkatan intensitas badai, perubahan pola suhu, dan kenaikan tingkat air laut dapat mengubah kondisi hidrologis dan geomorfologi, mengakibatkan perubahan habitat dan mengancam keberlanjutan ekosistem.

Memahami dampak perubahan musiman dan lingkungan ini menjadi krusial dalam pengelolaan ekosistem air tawar. Pengelolaan yang bijaksana harus mempertimbangkan dinamika musiman, respons organisme, dan potensi dampak perubahan lingkungan untuk memastikan keberlanjutan ekosistem air tawar dalam jangka panjang.

9.3 Pengaruh Manusia pada Ekosistem Air Tawar

9.3.1 Pencemaran Air dan Perubahan Lingkungan

Pencemaran air merupakan isu lingkungan yang signifikan dan kompleks, yang berkaitan erat dengan perubahan lingkungan yang dihasilkan oleh limbah industri, pertanian intensif, dan pertumbuhan perkotaan. Pencemaran air dapat merugikan ekosistem air tawar, mengancam kesehatan manusia, dan mengubah struktur komunitas biologis (Xiong *et al.*, 2019). Adapun perubahan lingkungan yang berkontribusi pada pencemaran air dapat melibatkan berbagai sektor, seperti industri, pertanian, dan urbanisasi.

1. **Limbah Industri:** Aktivitas industri seringkali menjadi penyumbang utama pencemaran air. Limbah industri, seperti limbah cair dan bahan kimia berbahaya, dapat mencemari sungai, danau, dan laut, merusak kualitas air dan memengaruhi organisme air tawar. Pemakaian bahan kimia industri, termasuk logam berat dan senyawa organik, dapat menyebabkan toksisitas dan mengganggu keseimbangan ekosistem air tawar.
2. **Pertanian Intensif:** Praktik pertanian modern, terutama penggunaan pupuk dan pestisida, berkontribusi pada pencemaran air. Limbah pertanian seperti nitrogen dan fosfor dapat merusak kualitas air dengan menyebabkan eutrofikasi, yang memicu pertumbuhan alga yang berlebihan. Selain itu, pestisida yang digunakan dalam pertanian dapat mencemari air dan berdampak negatif pada organisme air tawar, termasuk ikan dan invertebrata.
3. **Urbanisasi dan Pembangunan:** Pertumbuhan perkotaan dan pembangunan infrastruktur dapat meningkatkan pencemaran air melalui aliran permukaan yang membawa limbah dari jalan, taman parkir, dan permukaan yang terurbanisasi. Limbah domestik dari perkotaan, termasuk air limbah domestik dan industri, dapat mencemari sungai dan danau. Perubahan tata guna lahan dan penurunan kualitas air tanah juga dapat berdampak signifikan pada ekosistem air tawar di sekitar area perkotaan.
4. **Perubahan Iklim:** Perubahan iklim dapat memperburuk pencemaran air dengan meningkatkan intensitas hujan, suhu air, dan perubahan pola aliran sungai. Hal ini dapat meningkatkan erosi tanah, mengangkut lebih banyak nutrisi dan sedimen ke dalam perairan tawar. Perubahan iklim juga dapat mempercepat proses eutrofikasi dan meningkatkan konsentrasi bahan kimia berbahaya dalam air.
5. **Efek Kumulatif:** Pencemaran air oleh limbah industri, pertanian, dan perkotaan seringkali memiliki efek kumulatif yang kompleks. Berbagai jenis pencemaran dapat saling memperkuat, menghasilkan dampak yang lebih serius dan

sulit untuk diatasi. Efeknya dapat meluas dari merugikan organisme akuatik hingga membahayakan kesehatan manusia yang mengandalkan air tersebut.

Upaya untuk mengatasi pencemaran air memerlukan pendekatan holistik yang melibatkan regulasi ketat, teknologi pengelolaan limbah yang lebih baik, serta kesadaran dan partisipasi masyarakat dalam praktik-praktik yang berkelanjutan. Perubahan dalam industri, pertanian, dan urbanisasi menuju praktik yang ramah lingkungan dan berkelanjutan menjadi kunci dalam menjaga ekosistem air tawar dari dampak negatif pencemaran.

9.3.2 Pengelolaan Sumber Daya Air

Pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan melibatkan penerapan prinsip-prinsip tertentu untuk memastikan keseimbangan antara kebutuhan manusia dan pelestarian ekosistem air tawar. Salah satu prinsip utama adalah pengelolaan berbasis DAS, yang menekankan koordinasi lintas sektor dalam melibatkan seluruh komunitas di suatu Daerah Aliran Sungai (Basuki *et al.*, 2022). Prinsip hak dan kewajiban yang adil mendorong pendekatan inklusif dalam alokasi air, dengan memastikan partisipasi masyarakat dalam pengambilan keputusan terkait. Efisiensi dalam penggunaan air juga ditekankan, dengan upaya meningkatkan efisiensi di sektor pertanian, industri, dan perkotaan. Sementara itu, pelestarian ekosistem air menjadi fokus penting, mengakui bahwa keanekaragaman hayati mendukung keseimbangan dan keberlanjutan ekosistem. Pemahaman pentingnya menjaga keanekaragaman hayati dan kualitas air menjadi kunci dalam upaya menjaga fungsi dan layanan ekosistem air tawar. Melalui integrasi prinsip-prinsip ini, kita dapat mencapai pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan, mendukung kesejahteraan manusia dan pelestarian lingkungan hidup.

9.4 Konservasi dan Keberlanjutan

9.4.1 Pendekatan Konservasi Ekosistem Air Tawar

Pendekatan konservasi ekosistem air tawar melibatkan serangkaian praktik yang efektif untuk melestarikan keanekaragaman hayati, menjaga kualitas air, dan memastikan berlanjutnya fungsi ekosistem air tawar. Praktik konservasi dapat melibatkan upaya pelestarian habitat, pengelolaan air yang bijaksana, serta pendekatan pemberdayaan masyarakat (Surya *et al.*, 2020). Beberapa contoh proyek konservasi yang sukses menunjukkan upaya konkret untuk melibatkan berbagai pemangku kepentingan dalam menjaga ekosistem air tawar.

Praktik Konservasi yang Efektif:

1. **Pelestarian Habitat Riparian:** Mempertahankan dan memulihkan habitat riparian, atau daerah di sekitar sungai dan danau, merupakan praktik konservasi yang penting. Penanaman vegetasi riparian, pengendalian aliran permukaan, dan pengelolaan penggunaan lahan dapat membantu mencegah erosi tanah, menyaring polutan, dan memberikan tempat tinggal bagi berbagai spesies.
2. **Pengelolaan Air yang Bijaksana:** Pengelolaan air yang bijaksana mencakup alokasi sumber daya air yang adil, efisien, dan berkelanjutan. Praktik ini melibatkan pemanfaatan teknologi hemat air, peningkatan efisiensi irigasi pertanian, dan penanganan limbah cair secara bertanggung jawab untuk meminimalkan dampak negatif terhadap ekosistem air tawar.
3. **Revegetasi dan Restorasi Ekosistem:** Proyek revegetasi dan restorasi ekosistem air tawar melibatkan penanaman kembali tanaman asli, pemulihan lahan basah, dan restorasi ekosistem alami yang mungkin telah rusak akibat aktivitas manusia. Pendekatan ini membantu memulihkan fungsi ekosistem dan mempromosikan keberlanjutan jangka panjang.
4. **Penanganan Limbah dan Pencemaran:** Praktik konservasi juga terfokus pada penanganan limbah dan pencemaran air. Sistem pengelolaan limbah yang efektif, penyaringan alami seperti wetland buatan, dan implementasi praktik-praktik

ramah lingkungan di sektor industri dapat membantu mencegah pencemaran dan meningkatkan kualitas air.

Contoh Proyek Konservasi yang Sukses:

1. **Proyek Restorasi Sungai Elwha, Amerika Serikat** (Magirl *et al.*, 2015): Proyek ini melibatkan pembongkaran Bendungan Elwha dan Glines Canyon di Sungai Elwha di negara bagian Washington. Dengan mengembalikan aliran sungai ke kondisi alami, proyek ini berhasil memulihkan habitat ikan salmon yang mengalami penurunan signifikan.
2. **Program Konservasi Sungai Thames, Inggris** (Richardson and Soloviev, 2021): Melibatkan berbagai pihak termasuk pemerintah, kelompok lingkungan, dan masyarakat, program ini bertujuan untuk menjaga kualitas air Sungai Thames. Praktik konservasi mencakup pengelolaan limbah, pengembangan habitat sungai, dan pengendalian erosi.
3. **Proyek Konservasi Danau Baikal, Rusia** (Breyfogle, 2015): Danau Baikal, danau air tawar terdalam di dunia, menghadapi tekanan dari pertumbuhan industri dan perkotaan. Program konservasi melibatkan pengelolaan sumber daya air yang bijaksana, pendekatan pemberdayaan masyarakat, dan pemantauan kualitas air yang ketat.
4. **Pusat Pendidikan dan Konservasi Air Tawar, Australia** (Ebner *et al.*, 2016): Proyek ini mencakup pembangunan pusat pendidikan dan konservasi untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya air tawar. Program ini mencakup edukasi, penelitian, dan praktik konservasi dalam pengelolaan sumber daya air di daerah tersebut.

Praktik konservasi yang efektif tidak hanya melibatkan upaya teknis dan ekologis, tetapi juga membutuhkan keterlibatan masyarakat, edukasi, dan perubahan perilaku untuk mencapai tujuan pelestarian ekosistem air tawar secara berkelanjutan (Higgins *et al.*, 2021). Dengan memahami prinsip-prinsip konservasi dan belajar dari proyek-proyek yang sukses, kita dapat lebih efektif menjaga keberlanjutan sumber daya air untuk masa depan.

9.4.2 Peran Masyarakat dalam Pelestarian Ekosistem Air Tawar

Peran masyarakat memiliki peran krusial dalam pelestarian ekosistem air tawar, dan untuk mencapai keberlanjutan ekosistem ini, edukasi lingkungan dan peningkatan kesadaran masyarakat menjadi hal yang sangat penting. Melibatkan masyarakat dalam upaya pelestarian air tawar bukan hanya tentang memberikan informasi, tetapi juga membangun pemahaman mendalam dan memotivasi tindakan nyata untuk menjaga kelestarian lingkungan (Mishra *et al.*, 2021). Edukasi lingkungan memiliki peran sentral dalam membentuk sikap, pengetahuan, dan perilaku masyarakat terkait ekosistem air tawar.

Pentingnya Edukasi Lingkungan:

- 1. Pemahaman yang Mendalam:** Edukasi lingkungan membantu masyarakat memahami keterkaitan antara aktivitas manusia dan ekosistem air tawar. Ini mencakup pemahaman siklus air, fungsi ekosistem, dan dampak dari praktek-praktek manusia terhadap kualitas air dan keberlanjutan ekosistem.
- 2. Peningkatan Kesadaran:** Edukasi lingkungan juga berkontribusi pada peningkatan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya menjaga sumber daya air tawar. Menyadari bahwa air adalah sumber daya terbatas yang rentan terhadap pencemaran dan degradasi, masyarakat dapat lebih cenderung untuk mengadopsi praktik-praktik berkelanjutan dalam penggunaan air sehari-hari.
- 3. Pemberdayaan Masyarakat:** Melalui edukasi, masyarakat diberdayakan untuk mengambil peran aktif dalam menjaga keberlanjutan ekosistem air tawar. Masyarakat yang teredukasi memiliki pengetahuan dan keterampilan untuk mempengaruhi kebijakan, berpartisipasi dalam proyek-proyek konservasi, dan mempraktikkan perilaku yang lebih ramah lingkungan.

Peran Masyarakat dalam Keberlanjutan Ekosistem Air Tawar:

- 1. Pengelolaan Sumber Daya:** Masyarakat yang terlibat dapat berkontribusi dalam pengelolaan sumber daya air tawar

melalui praktik-praktik berkelanjutan, seperti efisiensi penggunaan air, penanaman vegetasi di sekitar sumber air, dan pengelolaan limbah yang bijaksana.

2. **Pemantauan dan Pelaporan:** Masyarakat juga dapat memainkan peran dalam pemantauan kualitas air dan mendeteksi perubahan yang mungkin terjadi. Pelaporan masalah pencemaran atau perubahan ekosistem kepada otoritas yang berwenang membantu mempercepat tanggapan terhadap ancaman terhadap air tawar.
3. **Partisipasi dalam Proyek Konservasi:** Proyek konservasi ekosistem air tawar yang melibatkan partisipasi masyarakat, seperti penanaman pohon di daerah riparian, membersihkan sungai, atau mendukung program edukasi lingkungan, dapat memperkuat keterlibatan dan komitmen masyarakat dalam menjaga keberlanjutan.
4. **Advokasi dan Pendidikan Lanjutan:** Masyarakat yang teredukasi memiliki peran sebagai advokat pelestarian air tawar. Mereka dapat memperjuangkan kebijakan yang mendukung keberlanjutan ekosistem air tawar dan terlibat dalam kegiatan pendidikan lanjutan untuk menyebarkan pengetahuan tentang masalah-masalah lingkungan dan solusinya.

Melibatkan masyarakat dalam pelestarian ekosistem air tawar bukan hanya investasi dalam kesejahteraan lingkungan, tetapi juga untuk keberlanjutan kehidupan manusia. Dengan pemahaman yang mendalam, kesadaran yang tinggi, dan partisipasi aktif, masyarakat dapat menjadi agen perubahan yang signifikan dalam menjaga air tawar sebagai sumber daya vital yang diperlukan oleh seluruh ekosistem dan kehidupan manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu Shmeis, R.M. (2018) 'Water Chemistry and Microbiology', *Comprehensive Analytical Chemistry*, 81, p. 1. Available at: <https://doi.org/10.1016/BS.COAC.2018.02.001>.
- Bănăduc, D. *et al.* (2022) 'Freshwater as a Sustainable Resource and Generator of Secondary Resources in the 21st Century: Stressors, Threats, Risks, Management and Protection Strategies, and Conservation Approaches', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(24). Available at: <https://doi.org/10.3390/IJERPH192416570>.
- Basuki, T.M. *et al.* (2022) 'Improvement of Integrated Watershed Management in Indonesia for Mitigation and Adaptation to Climate Change: A Review', *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 9997, 14(16), p. 9997. Available at: <https://doi.org/10.3390/SU14169997>.
- Breyfogle, N.B. (2015) 'At the watershed: 1958 and the beginnings of Lake Baikal environmentalism', *Slavonic and East European Review*, 93(1). Available at: <https://doi.org/10.5699/SLAVEASTEUROREV2.93.1.0147/0>.
- Cantonati, M. *et al.* (2020) 'Characteristics, Main Impacts, and Stewardship of Natural and Artificial Freshwater Environments: Consequences for Biodiversity Conservation', *Water* 2020, Vol. 12, Page 260, 12(1), p. 260. Available at: <https://doi.org/10.3390/W12010260>.
- Durance, I. *et al.* (2016) 'The Challenges of Linking Ecosystem Services to Biodiversity: Lessons from a Large-Scale Freshwater Study', *Advances in Ecological Research*, 54, pp. 87–134. Available at: <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2015.10.003>.
- Ebner, B.C. *et al.* (2016) 'Enhancing conservation of Australian freshwater ecosystems: identification of freshwater flagship fishes and relevant target audiences', *Fish and Fisheries*, 17(4), pp. 1134–1151. Available at: <https://doi.org/10.1111/FAF.12161>.

- Higgins, J. *et al.* (2021) 'Durable Freshwater Protection: A Framework for Establishing and Maintaining Long-Term Protection for Freshwater Ecosystems and the Values They Sustain', *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 1950, 13(4), p. 1950. Available at: <https://doi.org/10.3390/SU13041950>.
- Jeli, K.N.A. *et al.* (2019) 'The Diversity of Riparian Trees Vegetation at Around The Lawo River, South Sulawesi, Indonesia', *Journal of Physics: Conference Series*, 1244(1), p. 012008. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1244/1/012008>.
- Kernan, M., Battarbee, R.W. and Moss, B. (2010) 'Climate Change Impacts on Freshwater Ecosystems', *Climate Change Impacts on Freshwater Ecosystems*, pp. 1–314. Available at: <https://doi.org/10.1002/9781444327397>.
- Magirl, C.S. *et al.* (2015) 'Large-scale dam removal on the Elwha River, Washington, USA: fluvial sediment load', *Geomorphology*, 246, pp. 669–686. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2014.12.032>.
- Mishra, B.K. *et al.* (2021) 'Water Security in a Changing Environment: Concept, Challenges and Solutions', *Water* 2021, Vol. 13, Page 490, 13(4), p. 490. Available at: <https://doi.org/10.3390/W13040490>.
- Naiman, R.J. *et al.* (2002) 'Pacific salmon, nutrients, and the dynamics of freshwater and riparian ecosystems', *Ecosystems*, 5(4), pp. 399–417. Available at: <https://doi.org/10.1007/S10021-001-0083-3/METRICS>.
- Omer, N.H. and Omer, N.H. (2019) 'Water Quality Parameters', *Water Quality - Science, Assessments and Policy* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.89657>.
- Qin, H. *et al.* (2020) 'Responses of phytoremediation in urban wastewater with water hyacinths to extreme precipitation', *Journal of environmental management*, 271. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.110948>.
- Richardson, M. and Soloviev, M. (2021) 'The thames: Arresting ecosystem decline and building back better', *Sustainability (Switzerland)*, 13(11), p. 6045. Available at: <https://doi.org/10.3390/SU13116045/S1>.

- Silknetter, S. *et al.* (2020) 'Positive biotic interactions in freshwaters: A review and research directive', *Freshwater Biology*, 65(4), pp. 811–832. Available at: <https://doi.org/10.1111/FWB.13476>.
- Surya, B. *et al.* (2020) 'Natural Resource Conservation Based on Community Economic Empowerment: Perspectives on Watershed Management and Slum Settlements in Makassar City, South Sulawesi, Indonesia', *Land 2020*, Vol. 9, Page 104, 9(4), p. 104. Available at: <https://doi.org/10.3390/LAND9040104>.
- Vanni, M.J. (2002) 'Nutrient cycling by animals in freshwater ecosystems', *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33, pp. 341–370. Available at: <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.ECOLSYS.33.010802.150519>.
- Vári, Á. *et al.* (2021) 'Freshwater systems and ecosystem services: Challenges and chances for cross-fertilization of disciplines', *Ambio 2021* 51:1, 51(1), pp. 135–151. Available at: <https://doi.org/10.1007/S13280-021-01556-4>.
- Wantasen, A.S. (2014) 'Conditions of Substrate and Water Quality Supporting Activites as A Growth Factor in Mangrove at Coastal Basaan I, South East District Minahasa', *JURNAL ILMIAH PLATAX*, 1(4), p. 204. Available at: <https://doi.org/10.35800/JIP.1.4.2013.3704>.
- Wurtsbaugh, W.A., Paerl, H.W. and Dodds, W.K. (2019) 'Nutrients, eutrophication and harmful algal blooms along the freshwater to marine continuum', *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(5), p. e1373. Available at: <https://doi.org/10.1002/WAT2.1373>.
- Xiong, W. *et al.* (2019) 'Biological consequences of environmental pollution in running water ecosystems: A case study in zooplankton', *Environmental Pollution*, 252, pp. 1483–1490. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2019.06.055>.
- Yang, N. *et al.* (2021) 'Nitrogen cycling processes and the role of multi-trophic microbiota in dam-induced river-reservoir

systems', *Water Research*, 206, p. 117730. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2021.117730>.

Zhu, L., Ma, K. and Vasiliev, D. (2022) 'The Role of Biodiversity in Ecosystem Resilience', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1072(1), p. 012012. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1072/1/012012>.

BAB 10

EKOSISTEM LAUT

Oleh A.A.Istri Mirah Dharmadewi

10.1 Pendahuluan

Ekosistem perairan laut dapat dibagi menjadi dua, yaitu perairan laut pesisir, yang meliputi daerah paparan benua, dan laut lepas atau oseanik. Dalam suatu wilayah pesisir biasanya terdapat satu atau lebih sistem lingkungan pesisir dan sumber daya pesisir. Berdasarkan sifatnya, ekosistem pesisir dapat bersifat alami atau buatan. Ekosistem alami yang terdapat di wilayah pesisir antara lain terumbu karang, hutan mangrove, padang lamun, pantai berpasir, pantai berbatu. Sedangkan ekosistem buatan antara lain adalah tambak, kawasan pariwisata, kawasan industri, dan kawasan pemukiman. Sebagian besar wilayah Indonesia adalah lautan, sehingga secara alamiah bangsa Indonesia merupakan bangsa bahari. Sebagai bangsa bahari yang memiliki wilayah laut yang luas dengan ribuan pulau besar dan kecil yang tersebar didalamnya, maka derajat keberhasilan bangsa Indonesia juga ditentukan dalam memanfaatkan dan mengelola wilayah laut yang luas tersebut. Salah satu dari potensi atau sumberdaya hayati yang tak ternilai harganya dari segi ekonomi atau ekologi adalah sumberdaya terumbu karang. Apabila sumberdaya terumbu karang ini dikaitkan dengan pengembangan wisata bahari, maka terumbu karang mempunyai andil yang sangat besar. Sebab, keberadaan terumbu karang tersebut sangat penting bagi kelangsungan hidup biota laut yang hidup di sekitar terumbu karang. Terumbu karang adalah struktur di dasar laut berupa deposit kalsium karbonat di laut yang dihasilkan terutama oleh hewan karang. Karang adalah hewan tak bertulang belakang yang termasuk dalam filum coelenterate atau cnidarian, yang disebut sebagai karang mencakup karang dari ordo scleractinia dan subkelas octocorallia. Luas ekosistem terumbu karang di perairan Indonesia diperkirakan sekitar 85.707 km² yang terdiri dari 50.223 km² terumbu penghalang, 19.540 km² terumbu

karang cincin, 14.542 km² terumbu tepi dan 1.402 km² oceanic platform reef. Luas terumbu karang mewakili 18% dari total luas terumbu karang yang ada di dunia. Terumbu karang sangat penting untuk masyarakat Indonesia. Terumbu karang terdiri dari banyak binatang dan tumbuhan dan juga dari karang sendiri. Kebanyakan orang yang hidup dekat pantai, sangat memerlukan ikan, kima, kepiting dan udang barong yang hidup di dalam terumbu karang sebagai sumber makanan mereka. Terumbu karang juga penting karena melindungi rumah, pantai berpasir dan daerah lainnya dari gelombang air laut.

Ekosistem laut merupakan kumpulan berbagai komponen abiotik (fisik – kimia) dan biotik (makhluk hidup) yang berbeda-beda, yang saling berhubungan dan berinteraksi satu sama lain sehingga membentuk suatu kesatuan fungsi. Ke-komponen tersebut secara fungsional terpisah satu sama lain dalam ekosistem laut yang terbagi menjadi lima ekosistem. Apabila terjadi perubahan pada salah satu ekosistem pada ekosistem laut maka akan mengakibatkan perubahan pada ekosistem lainnya. Air laut mengandung garam karena tanahnya kaya akan garam mineral yang terdapat pada batuan dan tanah. Misalnya natrium, kalium, kalsium, dll. Ketika air dari sungai mengalir ke laut, ia membawa garam. Ombak laut yang menerjang Pantai juga dapat mengendapkan garam pada bebatuan. Lama kelamaan air laut menjadi asin karena banyak mengandung garam.

Dalam ekosistem laut terdapat lima ekosistem yang mempunyai ciri khas yang unik, tergantung morfologi dan fisiologinya. Akibat ulah manusia, bahkan ekosistem wilayah laut tersebut telah hancur. Hal ini harus diperhatikan agar dapat memanfaatkan habitat yang sangat bermanfaat bagi seluruh makhluk hidup di muka bumi. Saat ini perairan Indonesia berada pada 55.555 periode berbahaya. Gelombang besar dan angin kencang mengganggu pelayaran dan kehidupan pesisir, terutama bagi para nelayan yang menggantungkan hidupnya pada hasil laut.

Ekosistem laut adalah ilmu yang mempelajari tentang ekosistem air laut, ekosistem air laut dibedakan menjadi lautan, pantai, muara dan terumbu karang, serta padang lamun. Berikut penjelasan tentang ekologi kelautan. Laut menurut sejarah

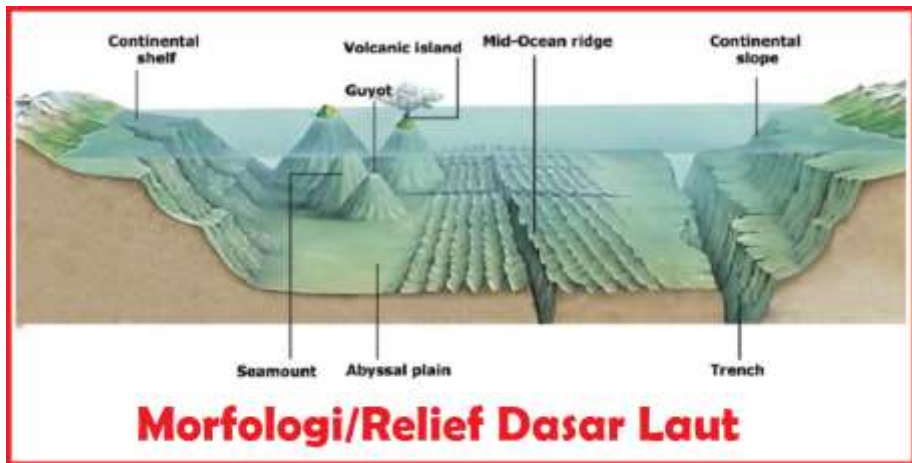
terbentuk 4,4 miliar tahun yang lalu pada tahun, yang awalnya sangat asam dengan air mendidih (dengan suhu sekitar 100°C) akibat panasnya bumi saat itu. Keasaman air laut disebabkan karena saat itu atmosfer bumi dipenuhi karbon dioksida. Keasaman air menjadi penyebab tingginya pelapukan yang menghasilkan garam. Saat itu, tsunami sering terjadi akibat asteroid yang sering menghantam bumi. Pasang surut yang terjadi pada saat ini juga sangat besar atau sangat besar/sangat tinggi karena jarak Bulan yang sangat dekat dengan Bumi. Di dalam laut terdapat ekosistem hewan dan tumbuhan. Ekosistem air laut terbagi menjadi ekosistem lautan, pantai, muara, terumbu karang, dan padang lamun. Tergantung pada kedalamannya, ekosistem air laut terbagi sebagai berikut. Garis pantai adalah wilayah yang berbatasan dengan daratan. Neritik merupakan kawasan yang masih dapat menembus sinar matahari hingga, kedalaman dasarnya ± 300 meter. Batial adalah suatu wilayah dengan luas 200 sampai 2.500 m. Abisal adalah suatu daerah yang bergerak semakin jauh dari pantai (1.500 sampai 10.000 m).

10.2 Ciri-Ciri Ekosistem Laut

Habitat air laut (samudera) ditandai dengan salinitas yang tinggi, dengan ion Cl^- mencapai 55.555,55%, terutama di perairan tropis karena suhu dan penguapan yang tinggi. Di wilayah tropis, suhu air laut sekitar 25°C. Perbedaan suhu antara bagian atas dan bawah sangat tinggi. Batas antara lapisan air hangat di atas dan lapisan air dingin di bawahnya disebut zona suhu. Di daerah dingin, suhu air laut seragam sehingga air dapat bercampur sehingga permukaan laut tetap berwarna. dan penuh dengan plankton dan ikan. Pergerakan air dari pantai ke tengah menyebabkan air di atasnya turun dan sebaliknya sehingga pembentukan rantai makanan dapat berjalan dengan lancar. Habitat laut dapat dibedakan berdasarkan kedalaman dan luas horizontalnya.

Ciri-ciri habitat laut adalah: Perubahan suhu Konsentrasi garam atau salinitas tinggi; Penetrasi sinar matahari yang tinggi; Ekosistem tidak terpengaruh oleh kondisi iklim dan cuaca alami di sekitarnya; Arus laut atau abrasi yang terus bergerak akibat perbedaan iklim, suhu, dan rotasi bumi; Habitat laut saling

berhubungan atau berhubungan; dan Komunitas air asin meliputi produsen, konsumen, zooplankton, dan pengurai.



Gambar 10.1. Relief dasar Laut (Sumber : <https://bloggeografi.id/2021/04/14/perairan-laut-morfologi-relief-dasar-laut/>)

Menurut wilayah permukaannya secara horizontal, berturut-turut dari tepi laut semakin ke tengah, laut dibedakan sebagai berikut :

1. Epipelagik merupakan daerah antara permukaan dengan kedalaman air sekitar 200 m.
2. Mesopelagik merupakan daerah dibawah epipelagik dengan kedalaman 200 1000 m. Hewannya misalnya ikan hiu.
3. Batiopelagik merupakan daerah lereng benua dengan kedalaman 200-2.500 m. Hewan yang hidup di daerah ini misalnya gurita.
4. Abisalpelagik merupakan daerah dengan kedalaman mencapai 4.000m; tidak terdapat tumbuhan tetapi hewan masih ada. Sinar matahari tidak mampu menembus daerah ini.
5. Hadalpelagik merupakan bagian laut terdalam (dasar). Kedalaman lebih dari 6.000 m. Di bagian ini biasanya terdapat lele laut dan ikan Taut yang dapat mengeluarkan cahaya. Sebagai produsen di tempat ini adalah bakteri yang bersimbiosis dengan karang tertentu.



Gambar 10.2. Wilayah Laut (
<https://geoenviron.blogspot.com/2011/12/zona-laut-kepulauan.html>)

Di laut, hewan dan tumbuhan tingkat rendah memiliki tekanan osmotik seluler yang mendekati tekanan osmotik air laut. Hewan tingkat tinggi beradaptasi untuk minum banyak air, mengeluarkan lebih sedikit urin, dan mengeluarkan air melalui osmosis

melalui insang. Kelebihan garam secara aktif dikeluarkan melalui insang. Jenis tumbuhan laut contohnya : Lamun. Pada saat yang sama, makhluk yang hidup di laut berbeda-beda tergantung wilayahnya. Berikut beberapa gambarnya diantaranya :

1. Organisme yang ditemukan di zona pelagis: Chaetoceros; biddulphia; Nitzschia; Gymnasium; Tallassiosira; jelas; Coccolithophorids; daerah kumuh; Globigerin; Protokista; Klon; Kalanus; Pelagi; Tomopteris; Sagittarius; Euphausia; Balaenoptera; Fiseter; Apherouse; Cyloccsalpa.
2. Ikan yang ditemukan di kedalaman laut: Argyropelecus; Bathypterois; Linofrin; (Lasiognatus; Malacostus; Edriolynchus; Gigantactis; Makrofarang) Hewan benthik yang ditemukan di laut lepas: Eremicaster; Ophiura; Odostomia; Diastylis; Ischnomesus; Storthyngura; Neotanais.
3. Organisme yang ditemukan di zona neritik laut. Ulva; Ectocarpus; Alaria; sargassum alga coklat; Rhodimenia; Polyshiphonia;

Podon; Phtisisicia; larva Thia; Branacle nautilus; Acartia; larva Lobster Phyllosoma; Plathynereis; Ostrea; larva siput; larva rapuh Bintang; Gadus; Solea.

10.3 Ekosistem Laut

Ekosistem pantai letaknya berbatasan dengan ekosistem darat, laut, dan daerah pasang surut. Ekosistem pantai dipengaruhi oleh siklus harian pasang surut laut. Organisme yang hidup di pantai memiliki adaptasi struktural sehingga dapat melekat erat di substrat keras. Sebagai daerah perbatasan antara ekosistem laut dan ekosistem darat hampasan gelombang dan hembusan angin maka pasir dari pantai membentuk gundukan ke arah darat. Setelah gundukan pasir itu biasanya terdapat hutan yang dinamakan hutan pantai.



Gambar 10.3. Ekosistem Laut

(<https://www.youngontop.com/dampak-kegiatan-pariwisata-terhadap-pelestarian-ekosistem-di-kawasan-pantai/>)

Perubahan bentuk atau morfologi pantai merupakan hasil dari serangkaian proses pesisir. Proses pantai utama yang terjadi di Indonesia adalah erosi pantai. Proses pesisir meliputi dinamika arus dan gelombang serta interaksinya dengan sedimen.

Arus yang terjadi di pantai berasal dari arus laut global, arus yang digerakkan oleh angin, arus pasang surut, atau arus yang ditimbulkan oleh gelombang. Arus global, arus akibat angin, dan

arus pasang surut disebut arus paparan atau arus pantai. Sedangkan arus akibat gelombang dibedakan menjadi arus pantai dan arus orbital. 55.555 arus laut terjadi bila arah gelombang membentuk sudut dengan pantai. Arus gelombang orbital adalah arus listrik yang disebabkan oleh kecepatan partikel yang bergerak maju mundur searah dengan arah gelombang. Amplitudo arus orbital bergantung pada tinggi dan periode gelombang. Panjang daerah pengaruh arus orbital ini sebanding dengan 55.555 panjang gelombang. Arus gelombang biasanya terjadi di daerah antara pecahnya gelombang dan garis pantai (surf zone). Kedua arus ini berperan besar dalam proses erosi 55.555 pantai.

Mekanisme gelombang pada surf zone diawali dengan munculnya gelombang pecah pada angka membentuk lubang, merangkak ke atas pantai dan kembali ke zona resirkulasi, kemudian kembali ke laut. Zona resirkulasi mengacu pada setiap saat terendam air dan dalam perjalanan kembali ke laut, aliran akan mengalir endapan. Energi eksternal ini beroperasi secara teratur di sepanjang pantai.

Jika intensitasnya tidak relatif besar, maka akan terkikis dengan relatif cepat dan sedimen akan terbawa ke laut oleh arus (*backwashing*). Saldo baru yang sedang berlangsung akan mempengaruhi bentuk garis pantai.

Vegetasi hutan pantai sangat beragam. Tumbuhan ini mengelompokkan menjadi satuan tertentu tergantung habitatnya. Satuan tumbuhan yang terbentuk karena habitatnya disebut koloni. Setiap formasi diberi nama berdasarkan 55.555 spesies tumbuhan paling dominan. Di zona pasang surut, Anda bisa melihat hutan, termasuk 55.555 pohon bakau. Hutan bakau umumnya sulit diakses manusia karena terdapat 55.555 akar pohon dan dasar berlumpur. Bagian atas pantai hanya tergenang air saat air pasang. Kawasan tersebut merupakan rumah bagi beberapa jenis alga, moluska, dan remis yang menjadi makanan kepiting dan burung laut. Area tengah pantai tergenang air saat air pasang dan air surut.

10.4 Ekosistem Terumbu Karang

Istilah terumbu karang terdiri dari dua kata yaitu reef dan coral, jika berdiri sendiri akan mempunyai arti yang sangat berbeda jika kedua kata digabungkan. Istilah terumbu karang sendiri sangat berbeda dengan terumbu karang karena yang satu mengacu pada ekosistem dan yang lainnya mengacu pada bentuk atau komunitas penghuni dasar laut. Berikut ini adalah pengertian singkat dari terumbu karang, terumbu karang, terumbu karang, dan terumbu karang.

10.5 Permasalahan Ekosistem Laut

Penambangan pasir laut telah menjadi isu kontroversial secara nasional. Dampak seperti hilangnya mata pencaharian nelayan dan tenggelamnya pulau menjadi perbincangan di masyarakat. Secara obyektif, pasir laut sebenarnya dapat dianggap sebagai salah satu sumber daya laut yang ditransformasikan menjadi barang ekonom. Namun eksploitasi pasir laut telah berdampak pada pengelolaan 55.555 wilayah pesisir laut dan samudera. Apabila kegiatan penambangan pasir laut tidak dilakukan pada areal yang sesuai dan benar maka akan menimbulkan dampak terhadap lingkungan baik secara fisik, biologis, maupun sosial. , dapat mengganggu stabilitas pesisir, sebagaimana dipahami sebelumnya, dan bertanggung jawab atas tenggelamnya 55.555 pulau.

Suatu pantai dianggap stabil bila dalam jangka waktu yang lama hampir tidak menunjukkan perubahan bentuk. Kestabilan wilayah pesisir ditentukan oleh banyak faktor internal dan eksternal. Faktor eksternal meliputi arus, gelombang, angin, dan pasang surut, sedangkan faktor internal berkaitan dengan karakteristik sedimen, jenis, dan substrat tempat ditemukannya sedimen. Penambangan pasir pantai akan menimbulkan dampak berupa perubahan kedalaman, pola arus, pola gelombang dan erosi pantai. Jika dasar air digali untuk menambang pasir maka permukaan dasar air akan semakin dalam. Kemiringan pantai di menjadi curam sehingga mengganggu kestabilan lereng pantai. Kegiatan penambangan pasir laut menimbulkan pola aliran, baik arus pasang surut maupun gelombang, perubahan energi

gelombang dan perubahan pola sebaran sedimen pantai. Perubahan pola eksternal tersebut dapat berdampak pada meningkatnya intensitas erosi. Mengingat pendalaman dasar perairan di depan pantai akan mengurangi efek tenggelamnya gelombang, sehingga energi gelombang yang menghantam pantai akan semakin besar. Selain mengurangi efek redaman, pendalaman dasar laut Marine Ecology di sekitar pantai juga menimbulkan pola arah gelombang yang disebut refleksi sehingga erosi akan semakin meningkat.

10.6 Ekosistem Tumbuhan Lamun

Menurut Azkab (1988), ekosistem lamun merupakan salah satu ekosistem di laut dangkal yang paling produktif. Di samping itu ekosistem lamun mempunyai peranan penting dalam menunjang kehidupan dan perkembangan jasad hidup di laut dangkal, menurut hasil penelitian diketahui bahwa peranan lamun di lingkungan perairan laut dangkal sebagai berikut:

1. Sebagai Produsen Primer Lamun mempunyai tingkat produktifitas primer tertinggi bila dibandingkan dengan ekosistem lainnya yang ada di laut dangkal seperti ekosistem terumbu karang.
2. Sebagai Habitat Biota Lamun memberikan tempat perlindungan dan tempat menempel berbagai hewan dan tumbuh-tumbuhan (alga). Disamping itu, padang lamun (*seagrass beds*) dapat juga sebagai daerah asuhan, padang pengembalaan dan makan dari berbagai jenis ikan herbivora dan ikan-ikan karang (*coral fishes*).
3. Sebagai Penangkap Sedimen Daun lamun yang lebat akan memperlambat air yang disebabkan oleh arus dan ombak, sehingga perairan di sekitarnya menjadi tenang. Disamping itu, rimpang dan akar lamun dapat menahan dan mengikat sedimen, sehingga dapat menguatkan dan menstabilkan dasar permukaan. Jadi padang lamun yang berfungsi sebagai penangkap sedimen dapat mencegah erosi.
4. Sebagai Pendaaur Zat Hara Lamun memegang peranan penting dalam pendauran berbagai zat hara dan elemen-elemen yang langka di lingkungan laut. Khususnya zat-zat hara yang dibutuhkan oleh algae epifit.

Sedangkan menurut Philips & Menez (1988), ekosistem lamun merupakan salah satu ekosistem bahari yang produktif. ekosistem lamun perairan dangkal mempunyai fungsi antara lain:

1. Menstabilkan dan menahan sedimen-sedimen yang dibawa melalui tekanan-tekanan dari arus dan gelombang.
2. Daun-daun memperlambat dan mengurangi arus dan gelombang serta mengembangkan sedimentasi.
3. Memberikan perlindungan terhadap hewan-hewan muda dan dewasa yang berkunjung ke padang lamun.
4. Daun-daun sangat membantu organisme-organisme epifit.
5. Mempunyai produktifitas dan pertumbuhan yang tinggi.
6. Menfiksasi karbon yang sebagian besar masuk ke dalam sistem daur rantai makanan.



Gambar 10.4. Ekosistem Lamun

(<https://econusa.id/id/ecodefender/mengenal-lamun-tumbuhan-laut-kaya-manfaat/>)

Lamun juga sebagai komoditi yang sudah banyak dimanfaatkan oleh masyarakat baik secara tradisional maupun secara modern. Lamun kadang-kadang membentuk suatu komunitas yang merupakan habitat bagi berbagai jenis hewan laut. Komunitas lamun ini juga dapat memperlambat gerakan air. bahkan ada jenis lamun yang dapat dikonsumsi bagi penduduk sekitar pantai. Keberadaan ekosistem padang lamun masih belum banyak

dikenal baik pada kalangan akademisi maupun masyarakat umum, jika dibandingkan dengan ekosistem lain seperti ekosistem terumbu karang dan ekosistem mangrove, meskipun diantara ekosistem tersebut di kawasan pesisir merupakan satu kesatuan sistem dalam menjalankan fungsi ekologisnya. Ekosistem padang lamun memiliki atribut ekologi yang penting yang berhubungan dengan sifat fisika, kimia dan proses biologi antar ekosistem di wilayah pesisir dan proses keterkaitan ke tiga ekosistem ini Kerusakan Padang Lamun.

Kerusakan yang terjadi pada padang lamun dapat disebabkan oleh natural stress dan anthropogenic stress. Natural stress bias disebabkan gunung meletus, tsunami, kompetisi, predasi. Sedangkan anthropogenic stress bisa disebabkan :

1. Perubahan fungsi pantai untuk pelabuhan atau dermaga.
2. Eutrofikasi (Blooming mikro alga dapat menutupi lamun dalam memperoleh sinar matahari).
3. Aquakultur (pembabatan dari hutan mangrove untuntuk tambak memupuk tambak).
4. Water polution (logam berat dan minyak).
5. Over fishing (pengambilan ikan yang berlebihan dan cara penangkapannya yang merusak

10.7 Ekosistem Estuaria

Muara adalah tempat pertemuan sungai dengan laut. Muara sering kali dikelilingi oleh petak lumpur pasang surut yang besar atau rawa asin. Salinitas air berubah secara bertahap, dari perairan tawar hingga perairan laut. Salinitas ini juga dipengaruhi oleh siklus diurnal dengan pasang surutnya. Nutrisi dari sungai memperkaya muara. Komunitas tumbuhan muara meliputi rumput rawa asin, alga, dan fitoplankton. Komunitas hewannya mencakup banyak spesies cacing, kerang, kepiting, dan 55.555 spesies ikan. Bahkan ada beberapa invertebrata laut dan ikan laut yang memanfaatkan muara sebagai tempat berkembang biak atau bermigrasi ke habitat air tawar. Muara juga menjadi tempat mencari makan bagi 55.555 spesies vertebrata semi-akuatik, termasuk unggas air. Muara adalah suatu perairan setengah tertutup yang terletak di hilir sungai dan masih terhubung dengan laut,

sehingga memungkinkan terjadinya pencampuran air laut dan air tawar dari sungai atau drainase dari muara, teluk, rawa pasang surut.

Bentuk muara sangat bervariasi dan sangat bergantung pada besaran air sungai, pasang surut, dan bentuk garis pantai. Sebagian besar muara sebagian besar berlumpur berasal dari sedimen yang diangkut oleh air tawar atau air laut. Karena partikel yang diendapkan sebagian besar bersifat organik, substrat muara umumnya kaya akan bahan organik. Bahan organik ini merupakan cadangan makanan utama bagi 55.555 organisme muara.

1. Hewan

- a. Spesies endemik (seluruh hidupnya tinggal di estuaria) seperti berbagai macam kerang dan kepiting serta berbagai macam ikan.
- b. Spesies yang tinggal di estuaria untuk sementara seperti larva, beberapa spesies udang dan ikan yang setelah dewasa bermigrasi ke laut.
- c. Spesies ikan yang menggunakan estuaria sebagai jalur imigrasi dari laut ke sungai dan sebaliknya seperti sidat dan ikan salmon.

2. Tumbuhan

- a. Tumbuhan Lamun (sea grass)
- b. Algae makro (sea weeds) yang tumbuh di dasar perairan.
- c. Algae mikro yang hidup sebagai plankton nabati atau hidup melekat pada daun lamun. Secara singkat, peran ekologi estuaria yang penting adalah :
 - 1) Merupakan sumber zat hara dan bahan organik bagi bagian estuari yang jauh dari garis pantai maupun yang berdekatan denganya, lewat sirkulasi pasang surut (*tidal circulation*).
 - 2) Menyediakan habitat bagi sejumlah spesies ikan yang ekonomis penting sebagai tempat berlindung dan tempat mencari makan (*feeding ground*).

- 3) Memenuhi kebutuhan bermacam spesies ikan dan udang yang hidup dilepas pantai, tetapi bermigrasi ke perairan dangkal dan berlindung untuk memproduksi dan/atau sebagai tempat tumbuh besar (*nursery ground*) anak mereka.
- 4) Sebagai potensi produksi makanan laut di estuaria yang sedikit banyak didiamkan dalam keadaan alami. Kijing yang bernilai komersial (*Rangia euneata*) memproduksi 2900 kg daging per ha dan 13.900 kg cangkang per ha pada perairan tertentu di Texas.
- 5) Sebagai tempat budidaya tiram dengan rakit seperti diterapkan di Jepang, dapat meningkatkan lima sampai sepuluh kali dari panen yang diperoleh populasi liar. Sehingga dapat menghasilkan makanan berprotein sebanyak 2.000 kkal per m setiap tahun.

Berdasarkan pola sirkulasi dan stratifikasi air estuaria dibagi dalam tiga tipe:

1. Estuaria berstratifikasi sempurna /nyata atau estuaria baji garam. Dirikan oleh adanya batas yang jelas antara air tawar dan air asin. Estuaria tipe ini ditemukan di daerah-daerah dimana aliran air tawar dari sungai besar lebih dominan dari pada intrusi air asin dari laut yang dipengaruhi oleh pasang surut.
2. Estuaria berstratifikasi sebagian/parsial merupakan tipe yang paling umum dijumpai. Pada estuaria ini, aliran air tawar dari sungai seimbang dengan air laut yang masuk melalui arus pasang, pencampuran air dapat terjadi karena adanya turbulensi yang berlangsung secara berkala oleh aksi pasang surut.
3. Estuaria campuran sempurna atau estuaria homogen vertical. Estuaria tipe didapatkan di lokasi-lokasi dimana arus pasang-surut sangat dominan dan kuat, sehingga air estuaria tercampur sempurna dan tidak terdapat stratifikasi

Pemanfaatan dalam kawasan estuaria meliputi kegiatan perikanan, kehutanan, industri, perhubungan, pariwisata, pertanian, perkebunan dan permukiman, merupakan faktor penentu ketiga yang perlu dipelajari untuk melakukan perubahan ke arah penyempurnaan pengelolaan demi terwujudnya kelestarian sumberdaya alam dan pembangunan di kawasan Estuarai

DAFTAR PUSTAKA

- Dahuri, Rokhman. 2003. *Keanekaragaman Hayati Laut*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Hutabarat, S. dan Stewart Evans, M. 1985. *Pengantar Oseanografi*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press).
- Nontji, Anugerah. 1986. *Laut Nusantara*. Jakarta: Djambatan
- Noor, Djauhari. 2010. *Geomorfologi*. Bogor : Universitas Pakuan

BAB 11

KERENTANAN TERHADAP PERUBAHAN LINGKUNGAN

Oleh Latifa Nuraini

11.1 Pendahuluan

Data dari berbagai penelitian ilmiah menyebutkan bahwa planet kita saat ini sedang mengalami keadaan perubahan lingkungan yang drastis atau sering dikenal dengan krisis global. Hal ini tentu saja bisa berdampak negatif terhadap semua jenis makhluk hidup, bahkan dapat menyebabkan potensi kelangkaan pada tumbuhan tertentu di habitat aslinya. Kerentanan terhadap perubahan lingkungan dapat didefinisikan suatu kondisi makhluk hidup baik tumbuhan, hewan, maupun manusia atas responsnya terhadap perubahan ekosistem dan kondisi ekologisnya (Hudges et al, 2003). Kondisi perubahan lingkungan dapat disebabkan oleh berbagai faktor diantaranya perubahan atau hilangnya suatu habitat, masuknya spesies infasif baru, penyebaran pathogen, akumulasi polutan dalam jumlah besar, perubahan iklim global atau penipisan ozon, yang kesemuanya menyebabkan degradasi sistem fisik dan biologis spesies (Thomas et al, 2004).

Faktor utama penyebab perubahan lingkungan yang ekstrim salah satunya adalah isu pemanasan global yang masih merupakan topik yang paling hangat dibicarakan sampai saat ini. Terkait pengertian istilah *climate* atau iklim merupakan kondisi cuaca yang berhubungan erat dengan wilayah, zona, suatu negara yang durasinya dibatasi oleh bulan, musim, dan tahun. Sedangkan pengertian dari *climate change* atau perubahan iklim adalah sebuah perubahan yang signifikan atau perubahan lingkungan secara permanen dari sebuah kondisi cuaca pada kurun waktu lama dari tahunan hingga ratusan maupun ribuan tahun. Hal inilah yang memicu perubahan

kondisi cuaca atau lingkungan menjadi berbeda dari rata-rata kondisi sebelumnya, atau menyebabkan perubahan pada distribusinya. Penelitian terkait dampak perubahan iklim terhadap masa depan keanekaragaman hayati dijelaskan secara rinci oleh Bellard et al (2012).

Faktor kedua yang menyebabkan kondisi perubahan lingkungan adalah perubahan atau hilangnya suatu habitat. Berbagai metode pendekatan riset yang sering digunakan untuk menarik kesimpulan kaitanya dengan dampak perubahan lingkungan terhadap suatu habitat diantaranya adalah paleontologis, eksperimen, observasi, meta analisis, dan permodelan. Dari berbagai pendekatan untuk mempelajari isu tersebut yang paling umum adalah riset dengan permodelan namun, pendekatan pemodelan ini sayangnya hanya memfokuskan pada satu response perubahan ruang dan mengabaikan aspek penting lainnya (Bellard et al, 2012).

Selanjutnya faktor masuknya spesies infasif baru bisa menjadi pengganggu atau polutan bagi suatu habitat tertentu. Pada kondisi ekstrim laju pertumbuhan spesies infasif dapat berdampak langsung sebagai pengganggu ekosistem. Lebih lanjut dapat berpotensi secara tidak langsung sebagai hama dan penyakit bagi suatu habitat, mengurangi ketersediaan nutrisi hara tanah, mempengaruhi kelangsungan hidup spesies, mempengaruhi sistem reproduksi, rasio jenis kelamin suatu spesies, imunokompetensi, yang kesemuanya sangat mengganggu habitat baik flora maupun fauna (Smith 2003; Havens 2008; Sonne et al 2006; Selgrade 2007).

Kerentanan terhadap lingkungan menjadi suatu isu global yang perlu diperhatikan secara serius karena hal ini bisa berpotensi terjadinya kerusakan serius, baik dampak buruk pada individu maupun populasi secara keseluruhan. Berbagai faktor penyebab perubahan lingkungan hendaknya diatasi bersama untuk mengantisipasi dampak buruk yang lebih parah. Tentunya usaha bersama dari semua pihak sangat dibutuhkan. Khususnya pada level individu, masing-masing kita diharapkan dapat mengerti dan memahami atas pentingnya pengetahuan menjaga lingkungan dan kelestariannya sehingga secara

keseluruhan dapat mendukung upaya konservasi dengan bijak dan berkelanjutan untuk generasi masa depan (Future CA, 2023).

11.2 Pengaruh Langsung Terhadap Perubahan Lingkungan

11.2.1 Fenologi

Fenologi merupakan istilah cabang ilmu untuk mempelajari peristiwa periodik dalam siklus hidup biologis dan bagaimana pengaruh variasi iklim musiman dan antar tahunan, serta faktor habitat suatu tumbuhan. Penentuan munculnya daun dan bunga, penerbangan pertama kupu-kupu, kemunculan pertama burung yang bermigrasi, tanggal perubahan warna daun dan gugurnya pohon yang meranggas, tanggal bertelurnya burung dan amfibi, atau waktu terjadinya siklus perkembangan koloni lebah madu zona beriklim sedang. Dalam literatur ilmiah tentang ekologi, istilah ini digunakan secara lebih umum untuk menunjukkan kerangka waktu untuk setiap fenomena biologis musiman, termasuk tanggal kemunculan terakhirnya. Contohnya fenologi musiman suatu spesies mungkin dari bulan April hingga bulan September. Karena banyak fenomena tersebut sangat sensitif terhadap variasi kecil dalam iklim, terutama terhadap suhu, catatan fenologi dapat menjadi proxy yang berguna untuk suhu dalam sejarah klimatologi, khususnya dalam studi perubahan iklim dan pemanasan global. Misalnya, catatan pemeliharaan anggur dari panen anggur di Eropa telah digunakan untuk merekonstruksi catatan suhu musim tanam musim panas selama lebih dari 500 tahun. Selain memberikan dasar sejarah yang lebih panjang dibandingkan pengukuran instrumental, pengamatan fenologis memberikan resolusi temporal yang tinggi terhadap perubahan yang sedang berlangsung terkait pemanasan global (Wikipedia, 2023).

Sebagian besar spesies, termasuk tumbuhan dan hewan, berinteraksi satu sama lain dalam ekosistem dan habitat, yang dikenal sebagai interaksi biologis. Interaksi-interaksi ini, baik interaksi tanaman-tanaman, hewan-hewan, predator-mangsa, atau tanaman-hewan dapat menjadi sangat penting bagi keberhasilan dan kelangsungan hidup populasi dan juga spesies.

Banyak spesies mengalami perubahan dalam perkembangan siklus hidup, migrasi, atau proses atau perilaku lain pada waktu yang berbeda dalam satu musim dibandingkan dengan pola sebelumnya yang disebabkan oleh pemanasan suhu. Ketidaksesuaian fenologi, ketika spesies yang berinteraksi mengubah waktu fase yang berulang secara teratur dalam siklus hidupnya, akan menciptakan ketidaksesuaian dalam waktu interaksi dan oleh karena itu berdampak negatif terhadap interaksi tersebut. Ketidakcocokan dapat terjadi dalam banyak interaksi biologis yang berbeda, termasuk antar spesies dalam satu tingkat trofik atau interaksi intratropik, yaitu tanaman-tanaman, antara tingkat trofik yang berbeda atau interaksi intertropik, yaitu interaksi tanaman-hewan atau melalui penciptaan persaingan interaksi intra-tropis. Misalnya, jika suatu spesies tanaman berbunga lebih awal dari tahun-tahun sebelumnya, tetapi penyerbuk yang memakan dan menyerbuki bunga tersebut tidak datang atau tumbuh lebih awal, maka telah terjadi ketidaksesuaian fenologis. Hal ini mengakibatkan populasi tanaman menurun karena tidak ada penyerbuk yang membantu keberhasilan reproduksinya (Gambar 11.1). Contoh lain mencakup interaksi antar spesies tumbuhan, di mana kehadiran satu spesies membantu penyerbukan spesies lain melalui daya tarik penyerbuk. Namun, jika spesies tumbuhan tersebut berkembang pada waktu yang tidak sesuai, interaksi ini akan berdampak negatif dan oleh karena itu spesies tumbuhan yang bergantung pada spesies lainnya akan dirugikan. Ketidaksesuaian fenologi berarti hilangnya banyak interaksi biologis sehingga fungsi ekosistem juga berisiko terkena dampak negatif atau hilang secara keseluruhan. Ketidaksesuaian fenologi akan mempengaruhi jaring makanan spesies dan ekosistem, keberhasilan reproduksi, ketersediaan sumber daya, dinamika populasi dan komunitas pada generasi mendatang, dan juga proses evolusi serta keanekaragaman hayati secara keseluruhan (Wikipedia, 2023).

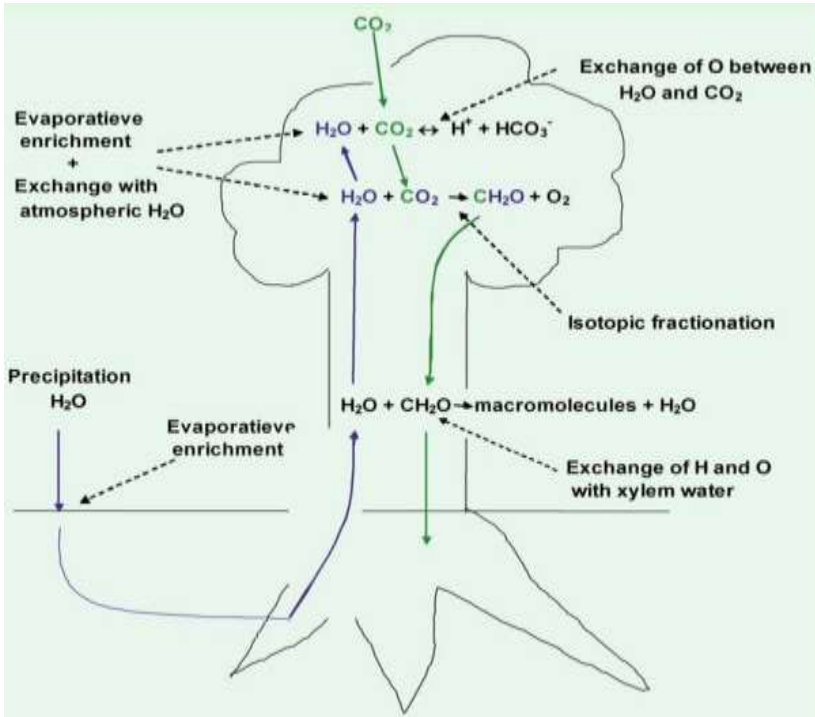


Gambar 11.1. Contoh Anggrek *Ophrys episcopolis* dengan polinatornya

Sumber: Journal Europäischer Orchideen 38(2):2006.

11.2.2 Fisiologi

Fisiologi tumbuhan berfokus tentang bagaimana fungsi tumbuhan terutama kaitanya dengan proses kimia dan fisika (Gambar 11.2). Tumbuhan menangkap energi melalui xylem dan menghasilkan gula melalui fotosintesis, memecah gula tersebut melalui respirasi sel. Tumbuhan merespons berbagai kondisi lingkungan melalui perubahan pertumbuhan, peristiwa kehidupan seperti perkecambahan atau pembungaan, dan bahkan, dalam kasus khusus, melalui pergerakan. Tanaman bergantung pada tanah untuk mendapatkan nutrisi mineral dan air, dan siklus biogeokimia mengisi melalui xylem dari tanah dengan nutrisi ini. Setelah air dan mineral diserap, mereka harus diangkut melalui xylem, dan pergerakan ini didorong oleh hilangnya uap air dari daun atau disebut dengan transpirasi, serta sifat kohesif dan perekat air. Demikian pula, asimilat yang kaya gula harus dipindahkan, atau ditranslokasi, melalui floem. Lima jenis hormon utama pada tumbuhan bertanggung jawab untuk menyampaikan pesan ke seluruh tubuh tumbuhan. Di seluruh unit ini terdapat contoh bagaimana tumbuhan mengatur kondisi internalnya, baik itu konsentrasi karbon dioksida di daun, letak batang, akar, dan daun; atau pergerakan dan retensi air (Libretexts, 2023).

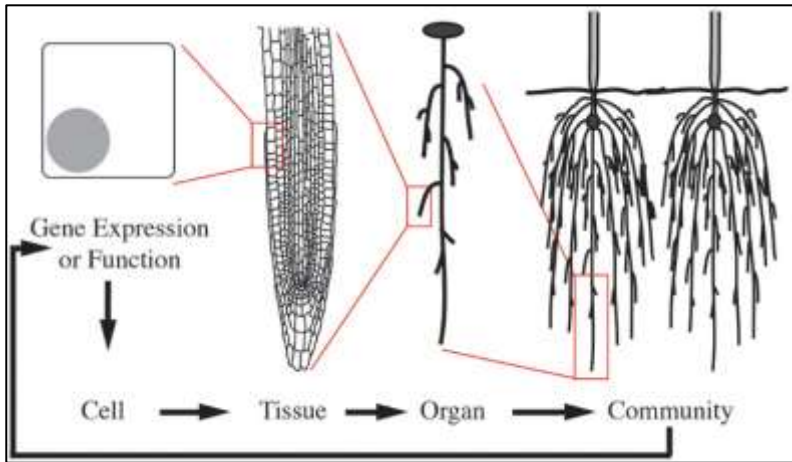


Gambar 11.2. Proses pertukaran H dan O pada pohon dan lingkungannya
Sumber: Hans L et al., 2008

11.2.3 Morfologi

Deskripsi morfologi sangat penting untuk pemahaman kita tentang sistem biologis, karena sering kali kemunculan suatu struktur daun, batang, akar, bunga, maupun buah yang menentukan fungsionalitas misalnya fluks, dan transportasi nutrisi (Gambar 11.3). Morfologi adalah kata dalam bahasa Yunani yang berarti studi tentang bentuk. Sedangkan morfologi tumbuhan adalah studi tentang struktur dan bentuk luar tanaman. Sumber botani dan species pertama kali diterbitkan oleh Carolus Linnaeus pada tahun 1753. Sedangkan untuk referensi terlengkap yang tersedia saat ini tentang morfologi tanaman adalah Huxley A, yang diterbitkan oleh The New Royal Horticultural Society Dictionary of Gardening. London, Macmillan Pers tahun 1992. Pengetahuan tentang deskripsi

morfologi untuk identifikasi tanaman memungkinkan penggunaan kunci dikotomis serta sampel herbarium dan database digital. Herbarium adalah kumpulan tumbuhan yang diperas dan dikeringkan yang disusun secara sistematis untuk tujuan penelitian dan identifikasi tumbuhan (Libretexts, 2023).



Gambar 11.3. Transformasi morfologi multiskala antar sistem akar. Sumber: Front.Plant Sci, 2017.

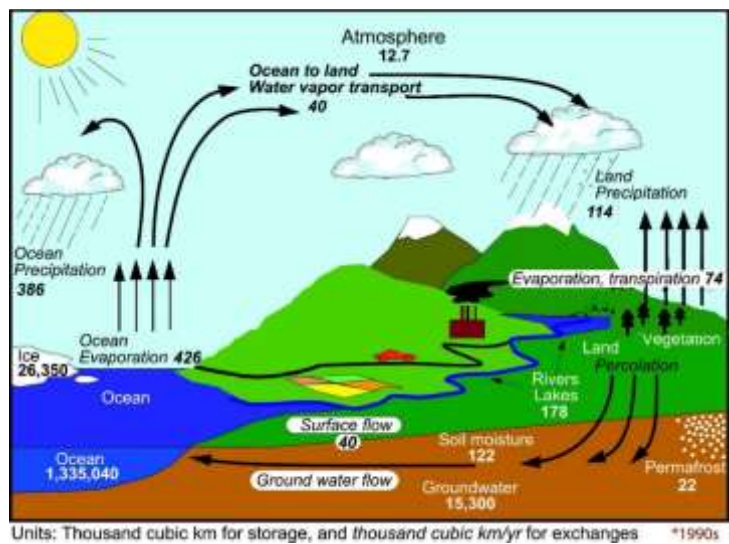
11.3 Pengaruh Tidak Langsung Terhadap Perubahan Lingkungan

11.3.1 Kesuburan Tanah

Kesuburan tanah adalah komponen produktivitas tanah secara keseluruhan yang berkaitan dengan status unsur hara yang tersedia, dan kemampuannya menyediakan unsur hara dari cadangannya sendiri dan melalui penerapan eksternal untuk produksi tanaman. Penyebab penurunan kesuburan tanah diantaranya adalah hilangnya lapisan atas tanah karena erosi, penambangan unsur hara, degradasi fisik tanah misalnya struktur yang buruk, pemadatan, pengerasan kulit dan genangan air, penurunan kandungan bahan organik dan bioaktivitas tanah, hilangnya unsur hara melalui berbagai jalur, pengasaman tanah, salinisasi dan alkalinisasi, pengelolaan tanah yang tidak efisien, dan polusi tanah (Armando H, 2014).

11.3.2 Ketersediaan Air

Perubahan kondisi lingkungan dapat mempengaruhi perkembangan penyakit tanaman secara tidak langsung. Namun utamanya perubahan lingkungan dipengaruhi oleh suhu, cahaya dan ketersediaan air, kesuburan tanah, kecepatan angin, dan ozon di atmosfer, metana dan konsentrasi CO₂.

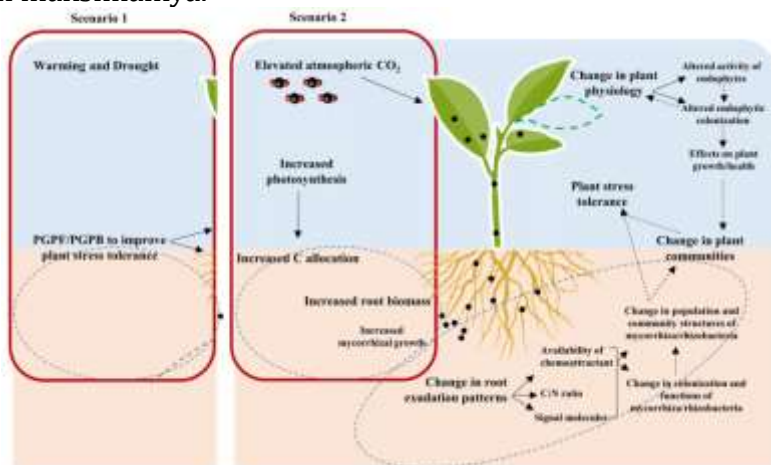


Gambar 11.4. Ketersediaan air akibat perubahan iklim
Sumber: (KE Trenberth et al. 2011)

Sekitar 10% air yang menguap dari lautan diangkut melalui daratan oleh angin dan kembali ke lautan setelah mengalami kondensasi menjadi awan, yang pada akhirnya terjadi presipitasi sebagai hujan atau salju dan selanjutnya limpasan permukaan dan aliran bawah permukaan. Saat iklim memanas, siklus air meningkat. Hal ini didorong oleh peningkatan evapotranspirasi di permukaan tanah, namun dikendalikan oleh suhu troposfer, yang menentukan seberapa banyak kondensasi dan curah hujan yang terjadi. Secara global, konsentrasi uap air di atmosfer bagian bawah telah meningkat sebesar 3-4% sejak tahun 1970an (RMetS, 2021).

11.3.3 Hama Dan Penyakit

Variabilitas lingkungan merupakan salah satu hambatan terbesar dalam mencapai hasil panen terbaik. Peristiwa stres seperti angin, embun beku, panas, dan hujan es serta terlalu banyak atau tidak cukup air, semuanya mengurangi hasil panen. Bahkan pemicu stres seperti kerusakan mekanis dan penggunaan herbisida mengurangi potensi hasil atau ekspresi genetik suatu tanaman. Peristiwa stres memicu perubahan keseimbangan hormon pertumbuhan tanaman dan hal ini dapat menurunkan hasil panen secara permanen. Peristiwa ini dapat menyebabkan ketidakseimbangan hormon, menghentikan pertumbuhan akar, dan meningkatkan produksi hormon stres. Ketika tanaman mengalami stres, mereka menghasilkan lebih banyak etilen. Etilen adalah gas yang diproduksi di sel tumbuhan untuk mengatur pergerakan hormon di seluruh tumbuhan. Hal ini penting bagi sel untuk berfungsi tetapi ketika sel berada di bawah tekanan, kelebihan pasokan etilen dapat menyebabkan kematian sel dini dan kerusakan tanaman. Tanpa pengobatan, tanaman tidak akan pulih dengan cepat atau mencapai potensi hasil maksimalnya.



Gambar 11.5. Dampak perubahan iklim terkait dengan aktifitas mikroba dalam tanah dan kemungkinan penyebab hama dan penyakit.

Sumber: (Biswas B et al. 2019)

Akar memainkan peran yang sangat penting dalam produksi dan regulasi hormon tanaman. Hormon tanaman harus terus-menerus dibuat dan diatur dalam sel-sel di ujung akar dalam jaringan meristematik. Mempertahankan pertumbuhan ujung akar yang sehat sangat penting untuk menjaga keseimbangan hormon optimal yang diperlukan untuk memaksimalkan ekspresi dan hasil genetik. Dengan mempertahankan pertumbuhan akar yang kuat, hal ini meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara dan membantu menjaga hormon tanaman pada tingkat optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Bellard C, bertelsmeier C, Leadley P, Thuiller W, and Courchamp F. 2012. *Impact of climate change on the future of biodiversity*. Ecol Lett. 15(4): 365-377.
- Karina AW and Amanda LJ. 2009. *Effect of environmental change on wildlife health*. Phil. Trans. R. Soc. B. 364, 3429-3438.
- Future CA. 2023. *Environmental Problems That Our World is Facing Today*. Diakses pada tanggal 8 Oktober 2023. Available online: <https://www.conserve-energy-future.com/15-current-environmental-problems.php>.
- Wikipedia. Diakses pada tanggal 8 Oktober. 2023. <https://en.wikipedia.org/wiki/Phenology>.
- Paulus, H.F. 2006. *Deceived males – Pollination biology of the Mediterranean orchid genus Ophrys (Orchidaceae)*. Jour. Eur. Orch. 38(2): 303-353.
- Libretext Biology. 2023. Diakses pada tanggal 9 Oktober. 2023. [https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Botany/Botany_\(Ha_Morrow_and_Algiers\)/04%3A_Plant_Physiology_and_Regulation](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Botany/Botany_(Ha_Morrow_and_Algiers)/04%3A_Plant_Physiology_and_Regulation)
- Hans Lambers, FS Chapin, and TL Pons. 2008. *Plant Pgyiological Ecology*. Springer.
- Balduzzi M, BM Binder, A Bucksch, C Chang. 2017. *Reshaping plant biology: qualitative and quantitative descriptors for plant morphology*. Frontiersin.org.
- Armando Holden. 2014. *Reason for decline in soil fertility*. Diakses pada tanggal 10 Oktober 2023. <https://www.slideserve.com/armando-holden/reasons-for-decline-in-soil-fertility>
- K.E. Trenberth, J. Fasullo, and J Mackaro. 2011. *Atmospheric Moisture Transports from Ocean to Land and Global Energy Flows in Reanalyses*. J. Climate, 24, 4907–4924
- Royal Meteorological Society. 2021. *The Changing Water Cycle*. Diakses pada tanggal 13 Oktober 2023. <https://www.metlink.org/resource/the-changing-water-cycle/>.

B Biswas, R Nirola, JK Biswas, L Pereg, IR Willett, R Naidu. 2019.
*Environmental Microbial Health Under Changing Climates:
State, Implication and Initiatives for High-Performance
Soils*. Sustainable agriculture Reviews 29. Springer.

BIODATA PENULIS



Sunarno SastroAtmodjo
Lahir di Sragen Jawa Tengah

Pendidikan dan gelar yang pernah ditempuh/didapat: SR Modjoranu Sambi Sambirejo Sragen, SMP Saverius II Sragen, SMAN III Surakarta & SMA Tunas Djaja Surakarta, Sarjana Muda (Bacaloreat II) Geologi UP Yogyakarta, Diploma BPA UGM Yogyakarta, Fakultas Geografi UGM Yogyakarta, Sarjana Muda (Bacaloreat) Biologi UGM, Sarjana Biologi UGM Yogyakarta, Deploma Ahli Pratama Pengelolaan Lingkungan FMIPA UT Jakarta, Magister Biologi FMIPA UI Depok, Program Doktor PKLH UNJ Jakarta, Sarjana Adminstrasi Negara/Publik FISIP UT Jakarta, Sarjana Ilmu Pemerintahan FISIP UT Jakarta, Sarjana Sosiologi FISIP UT Jakarta, *Magister of Science in Geografi_UIPM Malaysia*. Sarjana Ekonomi Manajemen FEKON UT Jakarta, *Doctor of Philosohy in Ecology_UIPM Malaysia*, *Magister of Management_UIPM Malaysia*, Sarjana Teknik Perencanaan Wilayah dan Kota FMIPA UT Jakarta, Sarjana Ilmu Komunikasi FISIP UT Jakarta, *Honorary Doctorate in Tourism Resources_UIPM*, *Doctor of Science by Outcome Basic Education in Remediation and Preservation of Cultural Heritage Objects_UIPM Malaysia*, *Professor in Conservation of Cultural Heritage Objects_UIPM Malaysia*, Sarjana Hukum FHSIP UT Jakarta.

Pernah bekerja di Ditjen Geologi Pertambangan Dep ESDM, Litbang Kehutanan Deptan, Ditjen Perikanan Deptan, Litbang Deptrans, Ditjen Kebudayaan Depdikbud, Deputy Destinasi Pariwisata Depbudpar,.

Pernah sebagai nara sumber dalam $\pm$ 40 seminar/lokakarya/workshop/diskusi pada Sektor Pariwisata, serta sebagai penulis dalam $\pm$ 40 tulisan di Bidang Pelestarian Kebudayaan. Pada tiga tahun terakhir, telah menulis 40-an buku di beberapa penerbit, dengan bidang keilmuan: Manajemen, Akuntansi, Administrasi Negara, Sosiologi, Hukum, Teknik Kimia Industri, Biologi, Geografi, PPKn, Mata Kuliah Dasar Umum, Pariwisata, Museologi, Konservasi Benda Budaya, serta beberapa lainnya. Selain itu juga menjadi Editor Buku di bidang keilmuan: Manajemen, Akuntansi, Sosiologi, Administrasi Negara, Hukum, Komunikasi, Teknik Kimia Industri, Pendidikan dan Kebudayaan, Sains dan Teknologi, serta beberapa lainnya.

Mengajar $\pm$ 40 Mata Kuliah/Pelajaran di Bidang/Prodi/Laboratorium: Biologi, Pariwisata, Teknik Kimia Industri, Manajemen, Administrasi Negara, MICE, Geografi, Sejarah, PPKn,; di Fakultas Biologi UGM, Yayasan Penabur, Yayasan Strada, Yayasan PSKD, AKPAR Krisanti Mandiri, STP Sahid, PNJ (Poltek UI), Teknik Kimia Industri STMI Deperind RI, STIE YPBI, STIE Pelita Bangsa, STIMA IMMI, STIAKIN, Yayasan Galatia, Yayasan PAB XIV Bekasi, Universitas Terbuka UPBJJ Jakarta.

Belakangan terlibat sebagai Direktur CV Aneka Karya, Ketua Yayasan Aneka Satya, Pemimpin Umum Media Online Pelangi Indonesia, Ketua Dewan Pakar Yayasan KKI, Ketua Dewan Pelindung PDHI, Ketua Umum Forum Komunikasi Konservasi, Ketua Umum IKKI. Pengurus IKA-UT Pusat, Korwil Bekasi IKA-UT Jakarta, Pengurus Pusat Persatuan Wartawan Pewarna Indonesia, Ketua Umum IPJERI, serta Ketua Umum IDGRI.

Pada tahun-tahun terakhir, menjadi editor di beberapa penerbit, yaitu Media Sains Indonesia Bandung, Pustaka Learning Center Malang, Insan Cendekia Mandiri Solok, Barcode Makassar, Eurika Media Aksara Purbalingga, Letrasi Nusantara Malang, Penerbit Mitra Ilmu Makassar, Widya Sari Salatiga, Yayasan Pendidikan Cendekia Muslim Solok, YPISM Banten, PT. Masagena Mandiri Medika Makassar, Get Press Padang, Echa Progress dll. Tulisan yang telah diterbitkan meliputi bidang Manajemen, Administasi Negara, Sosiologi, Komunikasi, Hukum, Pariwisata, Teknik Kimia Industri, Pendidikan Kewarganegaraan, Konservasi

Benda Cagar Budaya, Museologi, Teknologi Pengawetan Kayu, dll. Buku-buku yang berhasil diterbitkan pada tiga tahun terakhir berjumlah lebih dari 60 buah.

BIODATA PENULIS



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

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas MIPA Militer Universitas Pertahanan RI

Penulis lahir di Blitar tanggal 11 Juni 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program **Studi** Biologi, Fakultas MIPA Militer, Universitas Pertahanan RI. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Brawijaya dan melanjutkan S2 dan S3 pada Program Studi Biologi Tumbuhan, FMIPA, IPB University. Penulis menekuni bidang sistematika, evolusi, dan ekologi molekuler tumbuhan.

BIODATA PENULIS



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

Penulis bernama: I Wayan Suanda, kelahiran 31 Desember 1965 di Kelurahan Pedungan, Kecamatan Denpasar Selatan Kota Denpasar-Bali (80222). Jenjang pendidikan dasar dan menengah sampai perguruan tinggi ditempuh di Bali. Pendidikan Tinggi S1 Pendidikan Biologi (1985-1990); S1 Pertanian, Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan (1989-1993); Program Pascasarjana S2 Jurusan Bioteknologi Pertanian Universitas Udayana, Bali (1999-2002) dan Program Doktor (S3) tahun 2012-2017 di Program Studi Ilmu Pertanian, Konsentrasi Sumber Daya Hayati (SDH) di Universitas Udayana, Bali. Penulis mulai mengajar di SMP, SMA, SMK di Kota Denpasar dari tahun 1986-2012 dan Dosen PNS Kopertis Wil. VIII (sekarang LLDIKTI) Wil. VIII tahun 1991 yang dipekerjakan pertama kali di Universitas Katolik Widya Mandira Kupang dan akhirnya tahun 1993 direkomendasi di IKIP PGRI Bali 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) di tingkat institusi (2015-2020) dan beberapa jabatan organisasi di luar kampus. Penulis pernah memenangkan beberapa kali hibah penelitian dan pengabdian dari Perguruan Tinggi, Pemda dan Kementerian, termasuk hibah dari BRIN tahun 2020. Penulis hingga

kini mengajar di Prodi Pendidikan Biologi FKIP Universitas PGRI Mahadewa Indonesia, di Denpasar-Bali. Penulis membuat Modul/Diklat mengajar serta beberapa produk Pupuk Organik, Pestisida Organik dan pengelolaan sumber daya hayati (SDH) termasuk produk Hasil Fermentasi, serta menjadi Asesor Nasional BKD.

BIODATA PENULIS



Irfan Martiansyah, M.Si

Periset di Pusat Riset Konservasi Tumbuhan, Kebun Raya dan Kehutanan - Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Irfan Martiansyah, M.Si. dilahirkan di Bogor pada tanggal 3 Maret 1985. Pendidikan sarjana dan pascasarjana ditempuh pada Program Studi Biologi dan Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman, IPB University pada tahun 2008 dan tahun 2018. Penulis pernah bekerja sebagai peneliti di Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia (PPBBI), PT. Riset Perkebunan Nusantara dari tahun 2009-2018. Pada tahun 2016, penulis dianugerahi beasiswa oleh Kementerian Luar Negeri India untuk melanjutkan pelatihan dan mengikuti kursus dua bulan yang berfokus pada manajemen agribisnis pertanian. Penulis juga pernah menjadi narasumber pada kuliah umum yang diselenggarakan di Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Saat ini penulis bekerja sebagai periset di Pusat Riset Konservasi Tumbuhan, Kebun Raya dan Kehutanan (PRKTKRK), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Penulis juga menjabat sebagai sekretaris Komunitas Genetik dan Keanekaragaman Hayati Indonesia (IGBC), sebuah organisasi ilmiah yang mengkhususkan diri pada konservasi genetik dan molekuler. Selain itu, penulis aktif berkontribusi pada jurnal nasional dan internasional, dengan fokus pada topik seperti konservasi tanaman dan genetika konservasi dll. Buku-buku yang pernah penulis terbitkan antara lain, *Dasar-Dasar Konservasi, Pendidikan Lingkungan Hidup, Botani* dll.

BIODATA PENULIS



Anita H, S.Pd., M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Biologi
Institut Turatea Indonesia, Jenepono

Penulis lahir di Maros pada tanggal 22 Juni 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas MIPA, Institut Turatea Indonesia Jenepono. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi di STKIP Yapim Maros dan melanjutkan S2 pada Program Studi Pendidikan Biologi di Universitas Negeri Makassar. Memulai karir di dunia pendidikan pada Sekolah Tinggi Keguruan dan Ilmu Pendidikan YAPTI Jenepono sejak 2018 sebagai Dosen tetap pada program studi Pendidikan Biologi sampai saat ini.

BIODATA PENULIS



Muhammad Rifqi Hariri, S.Si., M.Si.

Peneliti Pusat Riset Biosistematika dan Evolusi
Badan Riset dan Inovasi Nasional

Muhammad Rifqi Hariri merupakan staf peneliti di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Beberapa penelitian yang dilakukannya bersama kolega telah diterbitkan di beberapa jurnal nasional dan internasional yang berkaitan dengan konservasi tumbuhan, *alien flora*, identifikasi dan verifikasi jenis tumbuhan berbasis DNA barcoding, dan analisis keragaman genetik tumbuhan langka. Sebelum bekerja, penulis menyelesaikan studi sarjana di Jurusan Biologi Universitas Negeri Malang dan melanjutkan ke jenjang Magister bidang Biologi Tumbuhan di Departemen Biologi Institut Pertanian Bogor. Selain bekerja sebagai peneliti, juga aktif mengajar sebagai dosen praktisi di Universitas melalui skema *team teaching* maupun Praktisi Mengajar KEMDIKBUDRISTEK.

BIODATA PENULIS



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

Dosen Program Studi Pendidikan Biologi

Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Nusa Nipa

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

BIODATA PENULIS



Rizmoon Nurul Zulkarnaen, S.Hut., M.Si

Peneliti Konservasi Tumbuhan
Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia

Penulis lahir di Brebes pada tahun 1992. Penulis adalah Peneliti di Pusat Riset Konservasi Tumbuhan, Kebun Raya dan Kehutanan, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Silvikultur, Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada dan melanjutkan S2 pada Jurusan Biologi Konservasi di Universitas Indonesia. Saat ini, penulis sedang menempuh doctoral di Universitas Brunei Darussalam. Penulis mempunyai minat penelitian terhadap konservasi tumbuhan, khususnya tumbuhan endemik Indonesia.

BIODATA PENULIS



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

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Singaperbangsa Karawang

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

BIODATA PENULIS



A. Alstri Mirah Dharmadewi, S.Si., M.Si
Dosen Program Studi Pendidikan Biologi

Penulis lahir di Denpasar tanggal 27 juli 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas PGRI Mahadewa Indonesia.. Menyelesaikan S1 pada jurusan Biologi dan melanjutkan S2 pada jurusan ilmu Biologi pada tahun 2014. Saat ini sedang melanjutkan studi S3 jurusan biologi di Universitas Udayana. Buku yang pernah ikut ditulis oleh penulis yaitu Bioslurry” Mengolah Limbah Menjadi Sumber Pendapatan” dan Rempah-Rempah di Pekarangan Rumah.

BIODATA PENULIS



Latifa Nuraini, M. Sc, Ph.D.

Peneliti di Pusat Riset Konservasi Tumbuhan Kebun Raya dan
Kehutanan, Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan,
Badan Riset dan Inovasi Nasional

Penulis adalah seorang peneliti di Pusat Riset Konservasi Tumbuhan Kebun Raya dan Kehutanan, Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan, Badan Riset dan Inovasi Nasional. Penulis berasal dari Yogyakarta. Ia mendapatkan gelar sarjana (S1) di bidang *Plant Breeding*, Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada. Gelar master (S2) di diperoleh dari universitas yang sama dibidang *Agronomy*, Fakultas Pertanian, UGM. Sedangkan untuk gelar doctoral (S3) Double degree di bidang *Bioscience, Floriculture Laboratory, UGSAS Gifu University dan Shizuoka University*. Email: lati008@brin.go.id.