

BIODIVERSITAS



TIM PENULIS :

Silvia Permata Sari, Jessica Elfani Bermuli,
Sukal Minsas, Eneng Rahmi, Visi Tinta Manik
Daawia, Nur Indah Sari Arbit

BIODIVERSITAS

**Silvia Permata Sari
Jessica Elfani Bermuli
Sukal Minsas
Eneng Rahmi
Visi Tinta Manik
Daawia
Nur Indah Sari Arbit**



GET PRESS INDONESIA

BIODIVERSITAS

Penulis :

Silvia Permata Sari
Jessica Elfani Bermuli
Sukal Minsas
Eneng Rahmi
Visi Tinta Manik
Daawia
Nur Indah Sari Arbit

ISBN : 978-623-125-586-0

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

Penyunting : Rantika Maida Sahara., S.Tr.Kes

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, Januari 2025

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 Biodiversitas ini.

Buku Ini Membahas Komponen-komponen Biodiversitas, Interaksi Komponen Biodiversitas, Distribusi Biodiversitas, Biodiversitas Di Indonesia, Ancaman Biodiversitas Indonesia, Perubahan Iklim Dan Biodiversitas, Pengasaman Lautan Terhadap Biodiversitas Laut.

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 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
BAB 1 BIODIVERSITAS.....	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Tingkatan Biodiversitas	2
1.3 Perspektif Sejarah tentang Studi Biodiversitas	3
1.4 Pola dan Distribusi Biodiversitas: Menjelajahi Keanekaragaman Hayati di Bumi.....	4
1.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Biodiversitas: Meninjau Pengaruh Lingkungan dan Manusia.....	5
1.6 Biodiversitas dan Fungsi Ekosistem: Hubungan yang Penting dalam Keberlanjutan Alam	7
1.7 Biologi Konservasi dan Strategi Konservasi dalam Biodiversitas: Upaya Pelestarian Alam yang Holistik.....	8
1.8 Biodiversitas dan Hubungannya dengan Masyarakat Manusia: Mengintegrasikan Pelestarian Alam dan Kesejahteraan Manusia	9
1.9 Praktik Berkelanjutan dan Peran Pentingnya dalam Melestarikan Biodiversitas	10
DAFTAR PUSTAKA	12
BAB 2 INTERAKSI KOMPONEN BIODIVERSITAS	15
2.1 Definisi Biodiversitas.....	15
2.2 Interaksi Komponen Biodiversitas	16
2.2.1 Keanekaragaman Genetik.....	16
2.2.2 Keanekaragaman Spesies	17
2.2.3 Keanekaragaman Ekosistem.....	18
2.3 Manfaat Biodiversitas dan Peranan Manusia.....	19
2.4 Hubungan Biodiversitas dan Ekosistem	22
2.5 Biodiversitas Indonesia.....	23
2.6 Pengaruh Ekologi, Geologi, dan Biodiversitas di Indonesia.....	24
2.7 Tantangan Biodiversitas.....	25
DAFTAR PUSTAKA	27

BAB 3 DISTRIBUSI BIODIVERSITAS	31
3.1 Pendahuluan	31
3.1.1 Gradien Latitudinal	32
3.1.2 Gradien Altitudinal	33
3.1.3 Pola Hotspot	34
3.1.4 Endemisme	36
3.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Distribusi Biodiversitas	38
3.2.1 Faktor Abiotik.....	38
3.2.2 Interaksi Faktor Abiotik dan Pengaruhnya terhadap Distribusi	41
3.2.3 Faktor Biotik.....	42
3.2.4 Faktor Evolusi dan Sejarah	44
3.2.5 Faktor Antropogenik.....	46
3.3 Tantangan Dan Implikasi Dari Distribusi Biodiversitas	48
3.4 Kesimpulan	50
DAFTAR PUSTAKA.....	52
BAB 4 BIODIVERSITAS DI INDONESIA	55
4.1 Pendahuluan	55
4.2 Biodiversitas Genetika.....	56
4.3 Biodiversitas Spesies.....	58
4.3.1 Biodiversitas Flora.....	58
4.3.2 Biodiversitas Fauna.....	60
4.3.3 Biodiversitas Mikroorganisme	62
4.4 Biodiversitas Ekosistem	64
DAFTAR PUSTAKA.....	68
BAB 5 ANCAMAN BIODIVERSITAS INDONESIA	69
5.1 Pendahuluan	69
5.2 Perubahan Penggunaan Lahan	69
5.2.1 Deforestasi	70
5.2.2 Dampak Deforestasi Terhadap Biodiversitas	75
5.3 Perubahan Iklim.....	76
5.3.1 Dampak Perubahan Iklim Terhadap biodiversitas	78
5.4 Aktifitas Manusia	79

5.4.1 Penambangan dan Pengerukan Karang serta pembangunan resort.....	80
5.4.2 Limbah industri, pertanian, dan tumpahan minyak.....	80
5.4.3 Penangkapan ikan	81
5.4.4 Perburuan dan Perdagangan Satwa Liar Secara Ilegal	83
DAFTAR PUSTAKA	86
BAB 6 PERUBAHAN IKLIM DAN BIODIVERSITAS	89
6.1 Pendahuluan.....	89
6.2 Jenis-Jenis Iklim	90
6.3 Pengaruh perubahan iklim terhadap biodiversitas.....	100
DAFTAR PUSTAKA	107
BAB 7 PENGASAMAN LAUTAN TERHADAP BIODIVERSITAS LAUT	111
7.1 Pendahuluan.....	111
7.2 Proses Pengasaman Lautan	113
7.3 Dampak Pengasaman Laut terhadap Ekosistem Laut.....	114
7.4 Pengasaman Laut dan Keanekaragaman Hayati Laut.....	117
7.5 Pengasaman Laut dan Dampaknya terhadap Sumber Daya Alam Laut	121
7.5.1 Pengaruh Pengasaman terhadap Sektor Perikanan dan Akuakultur	121
7.5.2 Implikasi Ekonomi dan Sosial	122
7.6 Mitigasi dan Adaptasi terhadap Pengasaman Laut.....	123
7.6.1 Upaya Mitigasi Emisi CO ₂	123
7.6.2 Strategi Adaptasi untuk Melindungi Biodiversitas Laut.....	124
7.6.3 Rencana Kebijakan Global dan Lokal	125
DAFTAR PUSTAKA	127
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Varian jenis bunga Hoya; a) <i>Hoya multiflora</i> , b) <i>Hoya campanulata</i> , c) <i>Hoya lacunosa</i>	18
Gambar 2.2. Komponen yang terdapat di dalam suatu ekosistem.....	19
Gambar 3.1. Contoh biodiversitas dari hutan hujan tropis di Indonesia.....	31
Gambar 5.1. Diagram penyebab langsung perubahan penggunaan lahan di Kalimantan dan Sumatra.....	73
Gambar 5.2. Diadram penyebab mendasar perubahan penggunaan lahan di Sumatra dan Kalimantan.....	74
Gambar 5.3. Tingkat bahaya iklim ganda.....	77
Gambar 5.4. Jumlah kejahatan orangutan yang dilaporkan dan hukuman di Kalimantan dan Sumatra, Indonesia dari tahun 2007 hingga 2019.....	85
Gambar 7.1. Ringkasan sistem karbonat yang terjadi di lautan	113
Gambar 7.2. Diagram konseptual yang menggambarkan dampak pengasaman laut (OA), logam berat (HM), dan interaksinya terhadap beragam taksa (mikroalga, makroalga, karang, ikan, moluska, polychaetes) yang dibuktikan dengan hasil meta analisis yang disajikan pada gambar, panah menunjukkan arah perubahan.....	116
Gambar 7.3. Pemindaian CT dari puing-puing karang yang menunjukkan rekonstruksi 3D (a, b), irisan ortogonal (c, d), dan jejak bioerosi (e, f) dari dua contoh contoh puing-puing; <i>Porites</i> spp. (atas) dan fragmen <i>Orbicella</i> spp. (bawah) yang dikumpulkan di Cheeca Rocks dan terumbu Little Conch	118

Gambar 7.4. Perhatikan bahwa kedua kelompok memiliki kekayaan dan keanekaragaman spesies yang sama (satu individu dari masing-masing delapan spesies moluska), tetapi kelompok di sebelah kanan memiliki perbedaan taksonomi dan keanekaragaman fungsional yang lebih besar	119
Gambar 7.5. Diagram skematik dampak pengasaman laut terhadap dinamika ekosistem planktonik.....	120
Gambar 7.6. Diagram skematik CCS	124

BAB 1

BIODIVERSITAS

Oleh Silvia Permata Sari

1.1 Pendahuluan

Biodiversitas adalah konsep yang mencakup keanekaragaman genetik, spesies, dan ekosistem di planet kita. Hal ini menjadi aspek penting dalam memahami dinamika alam dan memastikan kelangsungan kehidupan di Bumi. Definisi yang jelas tentang biodiversitas, bersama dengan pemahaman tentang pentingnya dan signifikansinya, menjadi dasar untuk eksplorasi lebih lanjut dalam buku ini.

Definisi biodiversitas mencakup seluruh spektrum kehidupan, mulai dari variasi genetik di dalam suatu spesies hingga keanekaragaman ekosistem yang memengaruhi interaksi antarorganisme. Penelitian-penelitian ilmiah, seperti yang terdokumentasi dalam jurnal-jurnal seperti "*Ecology and Evolution*" (Balmford et al., 2005), "*Biological Conservation*" (Gaston et al., 2003), dan "*Journal of Applied Ecology*" (Soga et al., 2014) dan beberapa literatur lainnya yang telah memberikan wawasan yang berharga tentang konsep ini.

Pentingnya biodiversitas terletak pada perannya dalam menjaga keseimbangan ekosistem, menyediakan layanan ekosistem yang penting bagi kehidupan manusia, dan mendukung berbagai aspek kehidupan, mulai dari kesehatan hingga ekonomi. Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang biodiversitas menjadi kunci untuk menjaga keberlanjutan lingkungan dan kesejahteraan manusia.

Buku ini bertujuan untuk menjelajahi aspek-aspek penting biodiversitas, mulai dari definisi dan konsep dasarnya, hingga implikasi praktisnya dalam berbagai bidang. Melalui pemahaman yang mendalam tentang biodiversitas, diharapkan pembaca dapat mengenali pentingnya pelestarian

keanekaragaman hayati dan berkontribusi pada upaya melestarikan alam untuk generasi mendatang.

1.2 Tingkatan Biodiversitas

Biodiversitas merupakan kunci utama dalam menjaga keberlanjutan ekosistem dan keseimbangan alam. Konsep ini mencakup berbagai tingkatan yang memberikan gambaran tentang keragaman kehidupan di Bumi. Dalam Bab ini, kita akan membahas secara mendalam tentang tingkatan biodiversitas, yaitu Genetik, Spesies, dan Ekosistem, serta pentingnya menjaga keanekaragaman pada setiap tingkatan tersebut.

1. Tingkatan Genetik

Tingkatan genetik dalam biodiversitas mengacu pada variasi genetik yang terdapat dalam suatu populasi atau spesies. Penelitian oleh Roux et al. (2016) dalam jurnal "Journal of Experimental Botany" menyoroti pentingnya memahami peran gen dalam mempertahankan keanekaragaman genetik suatu populasi tumbuhan. Variasi genetik ini merupakan dasar bagi adaptasi organisme terhadap perubahan lingkungan dan evolusi spesies.

2. Tingkatan Spesies

Tingkatan spesies mencakup variasi spesies yang ada di lingkungan tertentu. Studi oleh Gaston dan Fuller (2003) dalam jurnal "Biological Conservation" menekankan pentingnya menjaga keberagaman spesies untuk mencegah kepunahan dan menjaga fungsi ekosistem. Keanekaragaman spesies memungkinkan adanya interaksi yang kompleks dan keseimbangan alam yang stabil.

3. Tingkatan Ekosistem

Tingkatan ekosistem mencakup keanekaragaman dalam interaksi antara organisme dan lingkungannya. Soga dan Gaston (2014) dalam "Journal of Applied Ecology" membahas dampak kehilangan interaksi manusia-alam terhadap keanekaragaman ekosistem. Keanekaragaman ekosistem merupakan penentu utama kesehatan lingkungan

dan penyediaan layanan ekosistem yang penting bagi manusia.

Jadi, melalui pemahaman yang mendalam tentang tingkatan biodiversitas ini, kita dapat mengapresiasi keanekaragaman kehidupan di Bumi dan mengambil langkah-langkah yang diperlukan untuk memastikan kelangsungan hidupnya. Dengan konservasi yang tepat, kita dapat menjaga keberlanjutan sumber daya alam dan mendukung kesejahteraan semua makhluk hidup.

1.3 Perspektif Sejarah tentang Studi Biodiversitas

Biodiversitas, sebagai konsep utama dalam ilmu biologi, telah menjadi fokus perhatian para ilmuwan sepanjang sejarah manusia. Studi tentang keanekaragaman hayati ini memiliki akar yang dalam dan berkembang seiring dengan perkembangan pengetahuan dan teknologi manusia. Dalam Bab ini, kita akan menjelajahi perspektif sejarah tentang studi biodiversitas, dari awal mula pemahaman tentang keragaman hayati hingga perkembangan ilmu pengetahuan modern.

1. Era Klasik

Pemahaman awal tentang keanekaragaman hayati dapat ditemukan dalam tulisan-tulisan para filsuf Yunani kuno seperti Aristoteles dan Theophrastus. Mereka memperhatikan dan mengklasifikasikan berbagai jenis organisme berdasarkan ciri-ciri morfologi dan perilaku.

2. Abad Pertengahan dan Renaisans

Selama Abad Pertengahan, pemahaman tentang biodiversitas terutama didasarkan pada pandangan filosofis dan agama. Namun, pada masa Renaisans, penjelajahan baru dan eksplorasi global membawa pemahaman yang lebih luas tentang keberagaman hayati di berbagai belahan dunia.

3. Abad Pencerahan dan Era Modern

Abad Pencerahan menjadi titik balik penting dalam studi biodiversitas, dengan munculnya konsep evolusi oleh

Charles Darwin dan Alfred Russel Wallace. Teori evolusi memberikan dasar yang kuat untuk memahami asal-usul dan perkembangan keanekaragaman hayati.

4. Abad ke-20 dan Perkembangan Teknologi

Perkembangan teknologi seperti mikroskop, DNA sequencing, dan sistem informasi geografis (SIG) memungkinkan ilmuwan untuk menggali lebih dalam dalam studi biodiversitas. Penggunaan teknologi ini membawa kemajuan signifikan dalam pemahaman tentang keragaman genetik, spesies, dan ekosistem di seluruh dunia.

Dengan pemahaman yang lebih mendalam tentang perspektif sejarah ini, kita dapat menghargai kompleksitas dan nilai penting studi biodiversitas dalam konteks evolusi ilmu pengetahuan dan konservasi lingkungan.

1.4 Pola dan Distribusi Biodiversitas: Menjelajahi Keanekaragaman Hayati di Bumi

Biodiversitas, sebagai kekayaan alam yang luar biasa, menunjukkan pola dan distribusi yang menarik di berbagai belahan dunia. Studi tentang pola dan distribusi biodiversitas memberikan wawasan yang berharga tentang bagaimana kehidupan tersebar dan berinteraksi di planet kita.

1. Pola Biodiversitas

Pola biodiversitas mencakup variasi geografis dalam keanekaragaman genetik, spesies, dan ekosistem. Studi oleh Hubbell (2001) dalam bukunya "The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography" menggambarkan pola distribusi spesies dalam suatu wilayah yang dapat dijelaskan oleh teori-teori ekologi dan biogeografi.

2. Distribusi Biodiversitas

Distribusi biodiversitas mencakup sebaran spesies dan ekosistem di berbagai habitat dan ekosistem di Bumi. Penelitian oleh Whittaker (1975) dalam jurnal "Ecology

and Biogeography: A Synthesis" menyajikan konsep tentang distribusi biodiversitas dari skala lokal hingga global, termasuk faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi distribusi tersebut.

Berbagai faktor mempengaruhi pola dan distribusi biodiversitas, termasuk iklim, topografi, sejarah evolusi, dan interaksi antarorganisme. Studi-studi terbaru oleh Jetz et al. (2019) dalam "Nature Ecology & Evolution" mengidentifikasi faktor-faktor utama yang memengaruhi distribusi global biodiversitas dan memprediksi perubahan yang mungkin terjadi di masa mendatang.

Oleh karena itu, melalui pemahaman yang lebih dalam tentang pola dan distribusi biodiversitas, kita dapat mengenali keunikan setiap wilayah di Bumi dan mengambil langkah-langkah yang diperlukan untuk menjaga keberlanjutan sumber daya alam dan keseimbangan ekosistem.

1.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Biodiversitas: Meninjau Pengaruh Lingkungan dan Manusia

Biodiversitas, sebagai kekayaan alam yang tak ternilai, dipengaruhi oleh berbagai faktor yang kompleks. Studi tentang faktor-faktor yang memengaruhi biodiversitas memberikan wawasan yang penting dalam upaya pelestarian dan pengelolaan lingkungan. Dalam bab 1 ini, kita akan mengeksplorasi faktor-faktor utama yang mempengaruhi biodiversitas, baik dari segi lingkungan alam maupun intervensi manusia, dan bagaimana faktor-faktor ini saling berinteraksi dalam membentuk keragaman hayati di planet kita.

1. Faktor Lingkungan

Salah satu faktor utama yang mempengaruhi biodiversitas adalah kondisi lingkungan alam, seperti iklim, topografi, dan vegetasi. Misalnya, penelitian oleh Hubbell (2001) dalam bukunya "The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography" menyoroti bagaimana

iklim dan topografi mempengaruhi distribusi spesies dalam suatu wilayah.

- a. Iklim: Perubahan iklim global dapat memengaruhi distribusi spesies dan keberlangsungan ekosistem.
- b. Topografi: Fitur-fitur topografi seperti pegunungan, sungai, danau, dan pantai memengaruhi habitat dan keanekaragaman hayati.
- c. Kepadatan Vegetasi: Kondisi vegetasi yang beragam memungkinkan adanya keanekaragaman spesies yang lebih tinggi.

2. Faktor Manusia

Interaksi manusia dengan lingkungan juga memiliki dampak yang signifikan terhadap biodiversitas. Beberapa contohnya sebagai berikut:

- a. Penggunaan Lahan: Perubahan penggunaan lahan seperti deforestasi, urbanisasi, dan pertanian intensif dapat mengurangi keanekaragaman hayati. Penelitian oleh Jetz et al. (2019) dalam "Nature Ecology & Evolution" juga menekankan pentingnya memperhitungkan faktor-faktor ini dalam upaya konservasi biodiversitas.
- b. Pencemaran: Limbah industri dan domestik dapat mengancam keberlangsungan hidup spesies-spesies tertentu.
- c. Perubahan Iklim yang Diinduksi Manusia: Aktivitas manusia seperti penggunaan bahan bakar fosil dan deforestasi dapat menyebabkan perubahan iklim yang merugikan biodiversitas.

3. Interaksi Antara Faktor-Faktor

- a. Faktor lingkungan dan manusia sering saling berinteraksi dan memperkuat dampaknya terhadap biodiversitas. Misalnya, perubahan iklim yang diinduksi manusia dapat mempercepat laju kepunahan spesies di habitat yang sudah terganggu akibat aktivitas manusia.

- b. Konservasi dan Restorasi: Upaya-upaya untuk melestarikan biodiversitas termasuk dalam faktor yang memengaruhi, karena tindakan-tindakan ini dapat membalikkan tren penurunan biodiversitas yang disebabkan oleh faktor-faktor negatif.

Jadi dengan memahami faktor-faktor yang mempengaruhi biodiversitas di atas, kita dapat mengembangkan strategi dan kebijakan yang lebih efektif dalam menjaga keberlanjutan keanekaragaman hayati di seluruh dunia.

1.6 Biodiversitas dan Fungsi Ekosistem: Hubungan yang Penting dalam Keberlanjutan Alam

Biodiversitas, sebagai keragaman kehidupan di Bumi, memiliki peran penting dalam menjaga fungsi ekosistem yang sehat dan seimbang. Hubungan yang erat antara biodiversitas dan fungsi ekosistem, serta bagaimana pemahaman akan hubungan ini menjadi kunci dalam upaya pelestarian alam yang berkelanjutan adalah sebagai berikut:

1. Keanekaragaman Hayati dan Keseimbangan Ekosistem

Biodiversitas memberikan dasar bagi keberagaman ekosistem, mulai dari hutan hujan yang kaya akan spesies tumbuhan dan hewan, hingga terumbu karang yang mendukung kehidupan laut yang beragam. Penelitian oleh Gaston dan Fuller (2003) dalam jurnal "*Biological Conservation*" menyoroti pentingnya keanekaragaman spesies dalam menjaga keseimbangan ekosistem.

2. Peran Biodiversitas dalam Fungsi Ekosistem

Studi oleh Cardinale et al. (2012) dalam "*Nature*" menunjukkan bahwa biodiversitas memiliki dampak yang signifikan terhadap berbagai fungsi ekosistem, termasuk penyediaan sumber daya alam, regulasi iklim, siklus nutrisi, dan pemurnian air. Kehadiran berbagai spesies dalam suatu ekosistem memberikan kontribusi yang unik terhadap fungsi-fungsi ini.

3. Pentingnya Pelestarian Biodiversitas untuk Fungsi Ekosistem

Melalui pelestarian dan pengelolaan yang bijaksana terhadap biodiversitas, kita dapat memastikan bahwa fungsi-fungsi ekosistem tetap terjaga dengan baik. Upaya-upaya konservasi seperti yang dilakukan oleh World Wildlife Fund (2022) dan Conservation International (2022) merupakan langkah-langkah penting dalam menjaga keseimbangan alam dan keberlanjutan ekosistem.

1.7 Biologi Konservasi dan Strategi Konservasi dalam Biodiversitas: Upaya Pelestarian Alam yang Holistik

Biologi konservasi merupakan bidang ilmu yang mempelajari cara-cara untuk melindungi, memelihara, dan mengembalikan keanekaragaman hayati di Bumi. Beberapa konsep biologi konservasi dan strategi konservasi yang efektif dalam menjaga biodiversitas, serta bagaimana upaya-upaya ini berperan penting dalam pelestarian alam yang holistik.

1. Biologi Konservasi: Pemahaman Dasar

Biologi konservasi melibatkan pemahaman mendalam tentang ekologi, genetika populasi, dan perilaku hewan dan tumbuhan. Studi oleh Soulé (1985) dalam "*Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity*" membahas dasar-dasar biologi konservasi dan pentingnya menjaga keseimbangan ekosistem untuk kelangsungan hidup berbagai spesies.

2. Strategi Konservasi: Pendekatan Holistik

Strategi konservasi mencakup berbagai pendekatan, mulai dari perlindungan habitat hingga rehabilitasi spesies yang terancam punah. Penelitian oleh McNeely et al. (1990) dalam "*Conservation Biology and Sustainable Development*" menyoroti pentingnya pendekatan holistik dalam mengatasi tantangan konservasi dan mempertahankan fungsi ekosistem yang utuh.

3. Keanekaragaman Spesies: Fokus Konservasi

Keanekaragaman spesies menjadi fokus utama dalam strategi konservasi, karena spesies-spesies yang beragam memiliki peran penting dalam menjaga stabilitas ekosistem. Studi oleh Jetz et al. (2019) dalam "Global distribution and conservation of evolutionary distinctness in birds" menekankan perlunya upaya konservasi yang berfokus pada keanekaragaman genetik dan evolusi spesies. Jadi, dengan memahami biologi konservasi dan penerapan strategi konservasi yang efektif secara komprehensif, kita dapat memastikan bahwa warisan alam yang berharga ini tetap terjaga bagi generasi mendatang.

1.8 Biodiversitas dan Hubungannya dengan Masyarakat Manusia: Mengintegrasikan Pelestarian Alam dan Kesejahteraan Manusia

Biodiversitas, sebagai warisan alam yang berharga, memiliki dampak yang signifikan pada kesejahteraan manusia dan interaksi yang kompleks dengan masyarakat. Mengeksplorasi hubungan yang erat antara biodiversitas dan masyarakat manusia, serta bagaimana pemahaman akan hubungan ini dapat membentuk strategi pelestarian yang lebih holistik dan berkelanjutan.

1. Manfaat Biodiversitas bagi Manusia

Keanekaragaman hayati memberikan berbagai manfaat langsung maupun tidak langsung bagi kesejahteraan manusia. Studi oleh Daily (1997) dalam bukunya "*Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*" menggambarkan pentingnya layanan ekosistem yang disediakan oleh biodiversitas, seperti penyediaan makanan, air bersih, obat-obatan, dan udara bersih.

2. Pengaruh Masyarakat Manusia terhadap Biodiversitas

Interaksi manusia dengan lingkungan, seperti deforestasi, urbanisasi, perubahan iklim, dan kegiatan ekstraktif, memiliki dampak yang signifikan terhadap biodiversitas. Penelitian oleh Millennium Ecosystem Assessment (2005) dalam "*Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*" menyoroti

tantangan-tantangan yang dihadapi oleh biodiversitas akibat aktivitas manusia.

3. Peran Masyarakat dalam Pelestarian Biodiversitas

Partisipasi dan kesadaran masyarakat dalam pelestarian biodiversitas sangat penting. Studi oleh Berkes et al. (2000) dalam "*The Dynamics of Social-Ecological Systems*" menunjukkan bahwa pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan memerlukan keterlibatan aktif dan partisipatif dari masyarakat. Melalui kolaborasi antara ilmu pengetahuan, kebijakan, dan partisipasi masyarakat, kita dapat menciptakan solusi yang berkelanjutan untuk menjaga biodiversitas dan memastikan kesejahteraan manusia di masa depan.

1.9 Praktik Berkelanjutan dan Peran Pentingnya dalam Melestarikan Biodiversitas

Praktik berkelanjutan merujuk pada cara-cara yang diadopsi oleh individu, perusahaan, dan masyarakat untuk menggunakan sumber daya alam dengan bijaksana tanpa mengorbankan keberlanjutan lingkungan. Dalam konteks pelestarian biodiversitas, praktik berkelanjutan memainkan peran penting dalam menjaga keanekaragaman hayati dan keberlangsungan ekosistem.

1. Praktik Berkelanjutan dalam Pertanian

Pertanian berkelanjutan adalah salah satu bidang yang mengadopsi praktik berkelanjutan untuk menjaga produktivitas tanah dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Menurut penelitian oleh Pretty et al. (2006) dalam "*Nature*", praktik pertanian berkelanjutan seperti agroforestri, pertanian organik, dan pengelolaan air yang efisien dapat membantu memelihara keanekaragaman genetik dan spesies dalam ekosistem pertanian.

2. Pengelolaan Hutan yang Berkelanjutan

Pengelolaan hutan yang berkelanjutan adalah kunci dalam pelestarian keanekaragaman hayati di ekosistem hutan. Studi oleh Lindenmayer et al. (2008) dalam "*Science*" menunjukkan bahwa praktik pengelolaan hutan yang berkelanjutan, termasuk zona-zona lindung, pemulihan

habitat, dan penggunaan kayu yang bertanggung jawab, dapat mempertahankan keanekaragaman spesies flora dan fauna di hutan.

3. Ekowisata dan Pariwisata Berkelanjutan

Pengembangan ekowisata dan praktik pariwisata berkelanjutan juga berkontribusi pada pelestarian biodiversitas. Penelitian oleh Honey (2008) dalam bukunya "Ecotourism and Sustainable Development" menyoroti pentingnya mempromosikan praktik pariwisata yang bertanggung jawab, melibatkan masyarakat lokal, dan melestarikan lingkungan alam untuk mendukung keberlanjutan ekowisata.

DAFTAR PUSTAKA

- Balmford, A., Green, R. E., & Jenkins, M. (2005). Measuring the changing state of nature. *Ecology Letters*, 8(1), 1-3.
- Berkes, F., Colding, J., & Folke, C. (2000). The Dynamics of Social-Ecological Systems. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... & Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59-67.
- Daily, G. C. (1997). Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington, DC: Island Press.
- Darwin, C. (1859). On the origin of species by means of natural selection. London: John Murray.
- Gaston, K. J., & Fuller, R. A. (2003). Biodiversity and extinction: losing the common and the widespread. *Biological Conservation*, 115(3), 317-319.
- Hubbell, S. P. (2001). The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography. Princeton University Press.
- Honey, M. (2008). Ecotourism and Sustainable Development: Who Owns Paradise? Washington, DC: Island Press.
- Jetz, W., Thomas, G. H., Joy, J. B., Hartmann, K., Mooers, A. O., & The Global Biodiversity Information Facility. (2019). Global distribution and conservation of evolutionary distinctness in birds. *Nature Ecology & Evolution*, 3(7), 1077-1084.
- Lindenmayer, D. B., Margules, C. R., & Botkin, D. B. (2008). Biodiversity conservation in a changing climate: a review of threats and implications for conservation planning in Australia. *Biological Conservation*, 141(12), 3235-3246.
- Mayr, E. (1942). Systematics and the Origin of Species. New York: Columbia University Press.
- McNeely, J. A., Miller, K. R., Reid, W. V., Mittermeier, R. A., & Werner, T. B. (1990). Conservation Biology and Sustainable Development. Gland, Switzerland: IUCN.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. Washington, DC: Island Press.

- Pretty, J., Toulmin, C., & Williams, S. (2006). Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 447-465.
- Roux, F., Mary-Huard, T., Barillot, E., Wenes, E., Botran, L., Durand, S., ... & Feuillet, C. (2016). The fate of duplicated genes in a polyploid plant genome. *Journal of Experimental Botany*, 67(6), 1741-1750.
- Soga, M., & Gaston, K. J. (2014). Extinction of experience: the loss of human–nature interactions. *Journal of Applied Ecology*, 51(2), 388-394.
- Soulé, M. E. (1985). *Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Wallace, A. R. (1855). On the law which has regulated the introduction of new species. *Annals and Magazine of Natural History*, 16(93), 184-196.
- Whittaker, R. H. (1975). *Ecology and Biogeography: A Synthesis*. Oxford: Oxford University Press.

BAB 2

INTERAKSI KOMPONEN BIODIVERSITAS

Oleh Jessica Elfani Bermuli

2.1 Definisi Biodiversitas

Biodiversitas merupakan kata yang cukup umum digunakan di bidang Biologi. Beberapa ahli menyatakan bahwa Biodiversitas diperkenalkan oleh Raymond F. Dasmann seorang ahli konservasi di tahun 1968 di dalam bukunya yang berjudul *A Different Kind of Country* (Jompa, et al., 2019). Penggunaan kata biodiversitas tercatat sejak buku yang diperkenalkan oleh Edward O. Wilson di tahun 1989 yang berjudul *Biodiversity* yang merupakan singkatan dari *Biological Diversity* (Supriatna, 2018). Lebih lanjut Supriatna (2018) menyampaikan bahwa biodiversitas merujuk pada lingkungan yang di dalamnya terdapat kehidupan dari berbagai jenis tumbuhan, hewan, hingga mikroorganisme yang masing-masing memiliki informasi genetik sehingga terbentuk suatu ekosistem kehidupan. Biodiversitas biasanya dikenal dengan nama keanekaragaman hayati.

Biodiversitas atau keanekaragaman hayati merupakan suatu istilah yang mendeskripsikan tingkatan keanekaragaman, variasi, dan frekuensi tumbuhan, hewan, dan juga mikroorganisme lainnya di alam (Asril, 2022). Biodiversitas atau keanekaragaman hayati merupakan seluruh elemen kehidupan yang membentuk ekosistem dengan keragaman dari hewan, tumbuhan, bakteri, jamur (Yuliani, Heri, Bakara, Sammy, & Ariesta, 2023). Dengan demikian, biodiversitas merupakan kumpulan dari keanekaragaman, variasi, dan frekuensi tumbuhan, hewan, jamur, hingga mikroorganisme lainnya yang hidup dan berinteraksi sehingga membentuk suatu ekosistem.

Biodiversitas biasa dikenal dengan sebutan keanekaragaman hayati atau kehati. Indonesia memiliki biodiversitas yang sangat

tinggi dan beragam. Keberagaman ini menyebabkan Indonesia dikenal sebagai negara megabiodiversitas. Indonesia menjadi 1 dari 17 negara dengan keanekaragaman tertinggi di dunia dan mendapatkan julukan "*Southeast Asian Big-3*" bersama Malaysia dan Filipina (Ngabekti & Rahayu, 2019). Keberagaman dan kekayaan ini menjadi aset penting bagi Indonesia (Jompa, et al., 2019). Keberagaman dari spesies hewan, tumbuhan, jamur, dan mikroorganisme yang ada di Indonesia, didukung oleh letak wilayah Indonesia. Secara geografis, Indonesia memiliki keistimewaan dan keuntungan dari letaknya. Indonesia berada tepat di wilayah garis khatulistiwa dengan pergeseran lempeng dan pola arus laut yang mendukung iklim Indonesia dan meningkatkan pertumbuhan serta kekayaan biodiversitas di dalamnya.

2.2 Interaksi Komponen Biodiversitas

Biodiversitas menyimpan berbagai kekayaan sumber daya di dalamnya. Kekayaan biodiversitas yang ada di alam dimulai dari tingkatan paling kecil hingga paling besar. Komponen biodiversitas dimulai dari keragaman tingkat genetik, keragaman tingkat spesies, hingga keragaman ekosistem (Jompa, et al., 2019). Yuliani, Heri, Bakara, Sammy, dan Ariesta (2023) menjelaskan bahwa di keanekaragaman hayati mencakup beberapa level, yaitu dimulai dari keragaman genetik, keragaman jenis atau keragaman spesies, dan juga keragaman ekosistem.

Di dalam suatu biodiversitas, komponen keragaman genetik, keragaman spesies, dan keragaman ekosistem menjadi komponen yang penting di alam. Tiga komponen keragaman tersebut menjadi bagian yang tidak terpisahkan dan bahkan menjadi penentu untuk keberlanjutan kehidupan makhluk hidup, khususnya masyarakat di kota tersebut (Kusmana, 2015). Selain itu, setiap tingkatan menjadi elemen penentu keberlangsungan setiap makhluk hidup di dalam membentuk komunitas natural yang bernilai penting (Supriatna, 2018).

2.2.1 Keanekaragaman Genetik

Setiap spesies disusun berdasarkan materi genetik yang berbeda-beda (Yuliani, Heri, Bakara, Sammy, & Ariesta, 2023).

Kekayaan materi genetik dapat muncul di setiap spesies tumbuhan, hewan dan mikroorganisme lainnya di dalam suatu populasi (Asril, 2022). Variasi tersebut diturunkan secara langsung dari parental ke keturunannya masing-masing. Urutan pasang basa DNA akan membentuk kromosom dan akhirnya akan memunculkan sifat tertentu. Meskipun dalam satu spesies yang sama, urutan susunan gen yang terdapat di setiap spesies dapat beragam. Contohnya tumbuhan *Hoya*. *Hoya* memiliki varian jenis yang sangat banyak. Varian dari setiap jenis *Hoya* dapat dilihat dari ciri-ciri, bentuk bunga, dan warna bunganya.

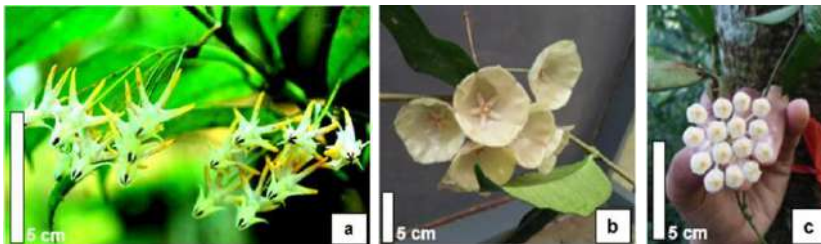
2.2.2 Keanekaragaman Spesies

Setiap spesies memiliki ciri dan bentuk yang beragam. Keragaman tersebut disebabkan oleh susunan materi genetik dari masing-masing individu. Spesies merupakan satuan jenis makhluk hidup yang hidup di alam semesta. Suatu spesies memiliki kekerabatan dan kedekatan yang dikembangkan dan dikumpulkan ke dalam perbedaan genetik (Supriatna, 2018). Genetik dari setiap spesies menyebabkan adanya kekerabatan dan kedekatan ciri yang muncul dari setiap individu. Ciri-ciri yang muncul menyebabkan keragaman spesies.

Variasi dan jumlah dari suatu jenis makhluk hidup yang hidup dan berkembangbiak di suatu tempat atau di tempat yang sama akan menyebabkan keanekaragaman spesies (Yuliani, Heri, Bakara, Sammy, & Ariesta, 2023). Besarnya jumlah pada keberagaman spesies memberikan variasi dan kekayaan pada spesies di suatu tempat (Asril, 2022). Ketika setiap individu memiliki kelimpahan yang sama, dapat menyebabkan variasi yang tinggi sehingga keberagamannya juga menjadi lebih tinggi. Contohnya ditemukan 237 spesies burung yang merupakan 48% dari keseluruhan spesies burung yang terdapat di Borneo, 266 jenis ikan yang merupakan 70% dari jumlah ikan yang ada di seluruh Kalimantan (Yuliani, Heri, Bakara, Sammy, & Ariesta, 2023).

Contoh lainnya berasal dari tumbuhan tertentu seperti *Hoya*, walaupun berasal dari satu Genus yang sama, tetapi karena memiliki bentuk, ciri, warna bunga, dan ukuran bunganya, serta beberapa perbedaan dari ciri lainnya, maka *Hoya* memiliki banyak

variasi pada spesiesnya. Perbedaan menjadi penentu variasi pada suatu spesies. Gambar 1 menunjukkan varian jenis *Hoya* yang ditemukan di Bodogol, Taman Nasional Gunung Gede Pangrango (Bermuli, 2017). *Hoya multiflora*, *Hoya campanulata*, dan *Hoya lacunosa* memiliki perbedaan dalam mekar mahkota bunganya, bentuk bunga, dan warna bunga. Berdasarkan Gambar 1, ukuran mahkota bunga *H. campanulata* lebih besar dibandingkan *H. multiflora* dan *H. lacunosa*. Namun, meskipun memiliki beberapa perbedaan pada setiap varian jenisnya, *Hoya* tetap memiliki beberapa kesamaan dalam ciri, seperti pembungaannya bertipe umbel atau payung, bentuk bunga seperti bintang, dengan lima bagian perhiasan bunga.



Gambar 2.3. Varian jenis bunga Hoya; a) *Hoya multiflora*, b) *Hoya campanulata*, c) *Hoya lacunosa*.
(Sumber: Bermuli, 2017)

2.2.3 Keanekaragaman Ekosistem

Komponen berikutnya adalah komponen keanekaragaman ekosistem. Pada keanekaragaman ekosistem, terdapat interaksi yang terjadi antara komponen biotik dan komponen abiotik di suatu wilayah tertentu (Asril, 2022). Komponen biotik meliputi hewan, tumbuhan, manusia, jamur, dan mikroorganisme lainnya sedangkan komponen abiotik adalah semua yang tidak hidup yang terdapat di alam (Gambar 2.2). Komponen abiotik meliputi cahaya matahari, udara/angin, suhu, iklim, batu, tanah, dan air. Komponen abiotik sangat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan setiap makhluk hidup.



Gambar 2.4. Komponen yang terdapat di dalam suatu ekosistem.
(Sumber: Gina, 2024)

Ruang lingkup bagi keanekaragaman ekosistem adalah di dalam satu wilayah atau satu lokasi geografis tertentu yang menunjukkan adanya variasi pada bentuk ekosistem disebut keanekaragaman ekosistem (Yuliani, Heri, Bakara, Sammy, & Ariesta, 2023). Variasi pada lokasi geografis tertentu menyebabkan adanya hubungan yang kuat antara abiotik (komponen yang tidak hidup) dan biotik (komponen yang hidup). Jompa, *et al.*, (2019) memaparkan bahwa hubungan yang terbentuk antara populasi dan spesies di suatu ekosistem adalah hubungan yang saling berkaitan dan tidak dapat dipisahkan. Jika suatu spesies mengalami gangguan dan berakhir punah, maka akan menyebabkan hilangnya suatu populasi sehingga menyebabkan penurunan pada daya dukung dari ekosistem tersebut. Dengan demikian, keanekaragaman ekosistem akan semakin bertambah jika terdapat pertumbuhan antar populasi yang hidup dan beraktivitas di suatu wilayah. Sebaliknya, keanekaragaman ekosistem akan berkurang jika terdapat ancaman dan gangguan bagi setiap komponen biotik di dalamnya.

2.3 Manfaat Biodiversitas dan Peranan Manusia

Alam menjadi rumah bagi setiap makhluk hidup untuk hidup dan melakukan berbagai aktivitas. Alam menyimpan berbagai kekayaan yang terdapat di dalamnya. Indonesia sudah dikenal sebagai salah satu daerah yang kaya akan biodiversitas atau keanekaragaman hayatinya (Katili, Utina, Yusuf, & Pikoli, 2022).

Biodiversitas yang terdapat di Indonesia, tentu memiliki manfaat yang penting bagi Indonesia dan seluruh makhluk hidup di dalamnya. Yuliani, Heri, Bakara, Sammy, dan Ariesta, (2023) menyebutkan bahwa biodiversitas di Indonesia memiliki nilai penting di berbagai bidang, seperti di bidang budaya, sosial, ekonomi, pangan, hingga obat-obatan, serta dapat menunjang sebagai penahan bencana, contohnya banjir dan lain sebagainya. Sejalan dengan hal tersebut, Sutarno dan Setyawan, (2015) menyatakan bahwa biodiversitas menjadi sumber untuk bahan makanan, obat-obatan, dan industri sehingga biodiversitas adalah komponen yang penting bagi manusia. Dengan demikian, hal ini menunjukkan bahwa banyak sekali manfaat dari biodiversitas bagi seluruh makhluk hidup.

Wujud pemanfaatan biodiversitas dapat berupa: 1) jasa di ekosistem dengan penyediaan air minum bersih, bekerja di dalam siklus daur unsur hara di tanah, restorasi tanah, mengurangi dan menyerap polutan yang menyebabkan polusi, menstabilkan iklim lingkungan, memelihara ekosistem, hingga membantu dalam distribusi maupun reproduksi dari tumbuhan; 2) sebagai penyedia makanan, obat-obatan, bahan baku industri, tanaman hias, bahan baku untuk pemuliaan dan penyediaan populasi; 3) berfungsi sebagai manfaat sosial dan budaya, yaitu sebagai tempat bagi berlangsungnya pembelajaran, pendidikan, rekreasi, hingga penelitian yang penting untuk dikembangkan (Sutarno & Setyawan, 2015). Hal ini menunjukkan bahwa biodiversitas menjadi penentu utama di dalam pembangunan yang terdapat di Indonesia dan manusia harus dapat mengelolanya dengan baik. Oleh karena itu, biodiversitas dan manusia menjadi aset yang sangat penting untuk membangun Indonesia (Jompa, *et al.*, 2019).

Biodiversitas di dunia memiliki peranan yang penting untuk kehidupan seluruh makhluk hidup di dalamnya. Jika ditilik dari nilai penting yang telah disebutkan oleh Jompa, *et al.*, (2019), dapat dikatakan bahwa biodiversitas mengambil peranan yang besar di semesta karena memberikan seluruh kebutuhan dari makhluk hidup dan menopang alam sekitar. Peranan biodiversitas tentu perlu diselaraskan dengan tugas dan tanggung jawab manusia. Karena manusia adalah *image of God* "*Imago Dei*" telah diberikan

rasio untuk berpikir serta mandat budaya untuk menjaga dan melestarikan alam dan seluruh sumber daya di dalamnya (Kejadian 1:26-30). Namun, pada kenyataannya justru manusia yang menjadi perusak utama bagi alam.

Kerusakan alam dapat menyebabkan turunnya jumlah biodiversitas. Karena alam menjadi satu-satunya tempat tinggal bagi makhluk hidup. Kekayaan alam di Indonesia memang tergolong sangat tinggi dan beragam. Tetapi kekayaan tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme tersebut dapat berkurang seiring berjalannya waktu jika tidak mendapatkan penanganan dan pengelolaan dengan bijaksana dan secara kontinu oleh manusia (Jompa, et al., 2019). Kerusakan yang disebabkan oleh manusia terus terjadi. Biodiversitas dieksploitasi secara tidak wajar. Bentuk-bentuk eksploitasi yang dilakukan oleh manusia adalah penebangan pohon secara ilegal (ilegal secara tindakan, jumlah, dan bahkan tempat penebangannya), penangkapan ikan dalam jumlah yang besar dan dengan cara yang salah (pengeboman dan pengambilan dengan jaring yang merusak biota dasar laut), pengambilan satwa liar di alam dan diperjual-belikan, dan lain sebagainya (Katili, Utina, Yusuf, & Pikoli, 2022). Cara-cara yang seperti ini dapat menyebabkan kerusakan fatal bagi lingkungan dan menurunkan jumlah biodiversitas di alam.

Manusia berperan penting dalam pelestarian lingkungan dan pengembangan biodiversitas. Manusia harus belajar untuk mengelola dan bukan hanya memanfaatkan biodiversitas saja. Peranan manusia di dalam mengelola biodiversitas perlu dilakukan secara cerdas sehingga dapat mendukung keberlangsungan seluruh elemen di dalamnya. Manusia harus mulai memiliki sikap dan perilaku yang peduli dengan tindakan pelestarian biodiversitas (Yuliani, Heri, Bakara, Sammy, & Ariesta, 2023). Namun, kenyataannya rendahnya pemahaman mengenai pelestarian dan konservasi biodiversitas dinilai sebagai dampak dari belum berhasil dan belum tercapainya sistem pembelajaran di Indonesia (Katili, Utina, Yusuf, & Pikoli, 2022). Dengan demikian, diperlukan pembelajaran secara tepat dan komprehensif melalui pembelajaran di semua jenjang agar dapat menunjang pembentukan karakter dan paradigma manusia mengenai kepeduliannya terhadap lingkungan.

Hal ini dapat dinilai sebagai salah satu cara untuk menumbuhkan kesadaran dan mengembangkan ide untuk melestarikan dan memanfaatkan biodiversitas secara seimbang dan tepat.

2.4 Hubungan Biodiversitas dan Ekosistem

Ekosistem adalah tempat bagi sejumlah biodiversitas untuk hidup dan berinteraksi. Ekosistem merupakan suatu area geografis yang menjadi tempat bagi tumbuhan, hewan, dan organisme lainnya untuk bekerja sama dengan cuaca dan bentang alam di dalam membentuk suatu ruang lingkup ekologi (Balasubramanian, 2019). Ekosistem juga didefinisikan sebagai suatu kelompok yang di dalamnya terdapat interaksi antara setiap makhluk hidup dan lingkungan fisiknya (Maulita, 2024). Sejalan dengan itu, ekosistem juga dipahami sebagai adanya proses interaksi dan pertukaran bahan-bahan antara organisme yang hidup dan yang tak hidup sehingga membentuk suatu tatanan yang sempurna dan menyeluruh (Tuhumena, 2023). Dapat disimpulkan bahwa ekosistem adalah suatu sistem yang di dalamnya terdapat interaksi antara organisme hidup dan tak hidup yang saling bersinergi dan berada di suatu wilayah tertentu.

Ekosistem dan biodiversitas adalah dua hal yang tidak dapat dipisahkan. Karena ekosistem menjadi tempat bagi biodiversitas untuk hidup, berkembang, dan berinteraksi. Ekosistem yang terjaga dengan baik akan menyebabkan biodiversitas yang bertumbuh dengan optimal. Sebaliknya, ekosistem yang rusak akan menyebabkan berkurang hingga kepunahan biodiversitas. Oleh karena itu, ekosistem perlu dijaga dan dilestarikan dengan baik agar setiap organisme yang hidup di dalamnya dapat terjaga keberlangsungannya. Salah satu upaya untuk menjaga biodiversitas adalah dengan cara konservasi.

Konservasi adalah suatu aktivitas yang penting untuk dilakukan karena bertujuan untuk memberikan perlindungan kepada seluruh biotik dan abiotik yang terdampak akibat penurunan kondisi lingkungan (Bermuli, 2024). Konservasi merupakan kegiatan yang dilakukan untuk melestarikan, mempertahankan, dan memanfaatkan sumber daya alam dengan bijaksana (Samsudewa, Pujaningsih, & Ondho, 2022). Dengan

demikian konservasi merupakan suatu bentuk upaya untuk menjaga, melestarikan dan memanfaatkan dengan bijak seluruh komponen abiotik dan biotik. Konservasi menjadi salah satu kegiatan yang penting untuk dilakukan agar keberlangsungan setiap makhluk hidup tetap terjaga (Kuspriyanto, 2020).

2.5 Biodiversitas Indonesia

Indonesia memiliki sebutan sebagai negara kepulauan yang beradampak pada biodiversitasnya. Biodiversitas Indonesia disebut-sebut sebagai 1 dari 17 negara dengan biodiversitas terbesar di dunia. Sutarno dan Setyawan (2015) menyebutkan ke-17 negara tersebut, yaitu Afrika Selatan, Amerika Serikat, Australia, Brasil, Cina, Ekuador, Filipina, India, Indonesia, Kolombia, Kongo, Madagaskar, Malaysia, Meksiko, Papua Nugini, Peru, dan Venezuela. Kekayaan biodiversitas dipahami sebagai melimpahnya jumlah spesies di wilayah tertentu. Karena melimpahnya biodiversitas di Indonesia, Indonesia mendapat julukan sebagai negara megabiodiversitas. Negara yang mendapat julukan megabiodiversitas mengacu pada 4 kriteria berikut (Sutarno & Setyawan, 2015):

1. Keberlangsungan suatu negara dipengaruhi oleh biodiversitasnya dan harusnya mendasari rencana pembangunan nasional maupun secara regional.
2. Terdapat ketidakmerataan dalam jumlah keragaman biodiversitas di dunia dan negara-negara tertentu, terutama yang memiliki iklim tropis, memiliki jumlah biodiversitas yang lebih besar dari pada negara lainnya
3. Negara dengan kekayaan spesies dan ragamnya yang tinggi justru memiliki ekosistem dengan ancaman paling tinggi.
4. Sumber daya yang terbatas memerlukan perlindungan yang maksimal agar dapat melindungi biodiversitas tersebut.

Alam di Indonesia memiliki kekayaan jenis dari tumbuhan, satwa, fungi, dan juga mikroorganismenya. Alam Indonesia tidak hanya menyediakan tumbuhan yang dapat ditanam saja, tetapi juga tumbuhan obat, tumbuhan pangan, tumbuhan endemik, tumbuhan eksotis, hingga tumbuhan ornamental. Berdasarkan informasi yang

ada, di kawasan pulau Jawa dan hutan Kalimantan menyimpan potensi tumbuhan obat. Potensi tumbuhan obat di pulau Kalimantan, khususnya, tersebar di berbagai jenis hutan, yakni dimulai dari hutan taman nasional, kawasan hutan penelitian, hutan lindung, hingga kawasan hutan lainnya (Noorhidayah, Sidiyasa, & Hajar, 2006).

Selain sebagai tumbuhan obat, biodiversitas di Indonesia juga banyak yang dapat digunakan sebagai fondasi tanaman pangan dan kesehatan di Indonesia. Samedi (2021) menjelaskan bahwa keanekaragaman hayati atau biodiversitas dapat menjadi fondasi utama bagi ketahanan kesehatan dan pangan manusia karena ekosistem menjadi tempat bagi manusia untuk mendapatkan makanannya dan air bersih, serta pengatur iklim, bencana, dan bahkan sebagai pengendali penyakit. Sejalan dengan itu, beberapa spesies juga memiliki keanekaragaman hayati yang berpotensi sebagai obat yang cukup sulit disembuhkan seperti HIV AIDS maupun kanker (Asril, 2022).

Selain tumbuhan, spesies lainnya seperti hewan dan mikroorganisme juga sangat bermanfaat bagi manusia. Di Indonesia terdapat 15% dari jumlah spesies karang keras yang ada di dunia (Jompa, et al., 2019). Berdasarkan data, jumlah ini mampu melewati jumlah kekayaan laut dari Australia, Hawai'i, dan juga Karibia. Oleh karena itu, besarnya jumlah biodiversitas dan potensinya, perlu untuk terus dikelola dengan baik dan bijaksana agar keragaman spesies terus ada dan dapat dinikmati oleh anak-cucu kita sampai selama-lamanya.

2.6 Pengaruh Ekologi, Geologi, dan Biodiversitas di Indonesia

Kekayaan biodiversitas Indonesia tidak luput dari beberapa unsur ekologi di dalamnya seperti tanah dengan unsur hara dan mineral yang tinggi akibat proses dari volkanisme (kecuali pulau Kalimantan), iklim tropis dan sinar matahari di sepanjang tahun yang menyediakan energi bagi tumbuhan untuk berfotosintesis dan mampu meningkatkan produktivitasnya (Sutarno & Setyawan, 2015). Faktor-faktor lingkungan sangat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan dari setiap individu serta kondisi lingkungan.

Kondisi lingkungan yang optimal akan menyebabkan makhluk hidup bertumbuh dan berkembang dengan maksimal.

Kondisi lingkungan, baik daratan maupun perairan di Indonesia, menjadi penyebab utama bagi kekayaan varian tumbuhan dan hewannya (Supriatna, 2018). Lebih lanjut dikatakan bahwa Asia dan Australia memiliki satwa dan tumbuhan yang bervariasi disebabkan karena pengaruh iklim tropis dan posisi geografisnya yang melingkar. Sejalan dengan itu, Tuhumena (2023) menyatakan bahwa iklim, letak geografis, garis lintang, dan letak permukaan laut juga memiliki andil yang besar terhadap kemelimpahan spesiesnya. Kedua pernyataan tersebut menjadi validasi bahwa kekayaan biodiversitas di Indonesia disebabkan oleh posisi geografisnya dan juga daratannya yang dipengaruhi oleh keberadaan gunung vulkanik yang menyebabkan tanahnya menjadi lebih subur.

Supriatna (2018) mencatat bahwa Indonesia memiliki > 1.500 spesies burung, $\pm$ 600 spesies mamalia, >8.000 spesies ikan, 40.000 spesies pohon, dan lainnya. Jumlah tersebut tergolong sangat banyak dan beragam sehingga Indonesia memang pantas mendapatkan sebutan sebagai negara megabiodiversitas. Kuspriyanto (2020) menyatakan bahwa spesies tumbuhan yang ada di Indonesia mencapai sekitar 25.000 spesies atau sekitar >10% dari total spesies tumbuhan yang terdapat di dunia, lumut dan ganggang terdapat sekitar 35.000 spesies, spesies hewan sekitar 220.000 dengan rincian $\pm$ 200.000 serangga ($\pm$ 17% spesies serangga yang ada di dunia), 4.000 spesies ikan, 2.000 spesies burung, dan 1.000 spesies reptil dan amfibi. Nilai jumlah dari tiap individu ini menunjukkan angka yang besar dan jumlah yang melimpah. Oleh karena itu diperlukan kesadaran oleh seluruh masyarakat Indonesia untuk ikut di dalam upaya melestarikan dan menjaga keberlangsungan setiap individunya.

2.7 Tantangan Biodiversitas

Di alam, biodiversitas memiliki sejumlah tantangan. Tantangan yang dihadapi dapat terjadi secara alami dan juga dapat terjadi akibat aktivitas yang dilakukan oleh manusia. Tantangan yang terjadi menjadi ancaman bagi seluruh biodiversitas yang ada di

dunia, khususnya di Indonesia. Ancaman yang paling tinggi dalam menaikkan angka kepunahan dari spesiesnya adalah kerusakan yang terjadi di lingkungan sehingga mengancam habitat asli dari biodiversitas (Kuspriyanto, 2020). Ekosistem merupakan tempat atau rumah bagi seluruh makhluk hidup. Keberlangsungan dari ekosistem tidak luput dari ada atau tidaknya gangguan di habitat aslinya.

Tantangan yang terjadi di ekosistem juga dapat berupa gangguan. Gangguan umumnya dibagi menjadi 2 peristiwa, yaitu fisik dan biologis. Gangguan secara fisik meliputi peristiwa hujan deras, banjir, gempa, kebakaran, dan sebagainya sedangkan gangguan biologis mencakup gangguan yang disebabkan oleh makhluk biologis tertentu seperti parasit, predasi, kompetisi, invasi spesies baru, dan sebagainya (Supriatna, 2018). Kedua bentuk gangguan ini dapat memberikan efek bagi keberadaan biodiversitas. Gangguan fisik dapat dihubungkan dengan beberapa fenomena yang kerap terjadi di lingkungan saat ini. Permasalahan lingkungan seperti perubahan iklim, bencana alam, polusi lingkungan, pembabatan hutan, eksploitasi yang berlebihan hingga punahnya spesies tertentu disebabkan oleh aktivitas manusia yang terjadi sangat cepat dan merusak lingkungan (Jompa, et al., 2019). Pada dasarnya setiap makhluk hidup diberikan kemampuan untuk beradaptasi sehingga gangguan yang terjadi di alam, umumnya masih dapat dihadapi makhluk hidup dengan baik dengan catatan, gangguan tersebut terjadi secara alami. Namun, jika gangguan yang terjadi di lingkungan sebagai dampak dari aktivitas negatif dari manusia, maka gangguan yang berat dapat menyebabkan kepunahan pada spesies tertentu. Oleh karena itu, diperlukan kesadaran manusia untuk dapat segera mengurangi aktivitas yang dapat merusak lingkungan dan mulai untuk peduli untuk memanfaatkan alam dengan bijaksana serta berupaya untuk melestarikan biodiversitas. Hal ini bertujuan agar keberlangsungan biodiversitas dapat terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Asril, M. (2022). Konsep Keanekaragaman Hayati. In M. Asril, M. M. Simarmata, S. P. Sari, Indarwati, R. B. Setiawan, Arsi, . . . Junairiah, & R. Watrianthos (Ed.), *Keanekaragaman Hayati* (pp. 1-12). Medan, Sumatera Utara, Indonesia: Yayasan Kita Menulis.
- Balasubramanian, A. (2019, September 1). Introduction to Ecology. Mysuru, Karnataka, India.
- Bermuli, J. E. (2017). *Populasi Hoya spp (Apocynaceae: Asclepiadoideae) di Pusat Pendidikan Konservasi Alam Bodogol, Indonesia*. Institut Pertanian Bogor (IPB). Bogor: Institut Pertanian Bogor (IPB). Retrieved from <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/91360>
- Bermuli, J. E. (2024). Ekologi dan Konservasi. In F. R. Saputri, M. Saija, N. Fuadi, M. Rukmana, M. Aini, Rahmaniah, . . . Y. T. Filindity, *IPA (Ilmu Pengetahuan Alam)* (pp. 156-179). Padang, Sumatera Selatan, Indonesia: Global Eksekutif Teknologi (GET) Press Indonesia.
- Gina, F. V. (2024, September 6). *Penyebab Ketidakseimbangan Ekosistem, Kelas 5 SD Kurikulum Merdeka*. Retrieved from Bobo.id Teman Bermain dan Belajar: https://bobo.grid.id/read/084146337/penyebab-ketidakseimbangan-ekosistem-kelas-5-sd-kurikulum-merdeka?page=all#google_vignette
- Jompa, J., Koropitan, A. F., Juliandi, B., Suryanegara, L., Muhamad, R., Mumbunan, S., . . . Marzuki, S. (2019). *Sains untuk Biodiversitas Indonesia*. (U. Chabibah, Ed.) Jakarta Pusat, DKI Jakarta, Indonesia: Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Katili, A. S., Utina, R., Yusuf, F. M., & Pikoli, M. (2022). *Literasi Biodiversitas dan Pembelajarannya*. Gorontalo, Indonesia: Ideas Publishing.
- Kusmana, C. (2015). Keanekaragaman Hayati (Biodiversitas) sebagai Elemen Kunci Ekosistem Kota Hijau. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia (Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon). I*, pp. 1747-1755. Jakarta: Smujo International. doi:10.13057/psnmbi/m010801

- Kuspriyanto. (2020). Upaya Konservasi Keanekaragaman Hayati dikawasan Lindung di Indonesia. *METAFORA - Education, Social Sciences and Humanities Journal*, 134-142. doi:10.26740/metafora.v1n4.p134-142
- Maulita, I. (2024). Sistem Bumi. In F. Saputri, M. Saija, N. Fuadi, M. Rukmana, M. Aini, Rahmaniah, . . . Y. T. Filindity, *IPA (Ilmu Pengetahuan Alam)* (pp. 124-139). Padang, Sumatera Barat, Indonesia: Global Eksekutif Teknologi (GET) Press Indonesia.
- Ngabekti, S., & Rahayu, E. S. (2019). *Monograf - Konservasi Keanekaragaman Hayati*. Semarang, Jawa Tengah, Indonesia: FMIPA Unnes.
- Noorhidayah, Sidiyasa, K., & Hajar, I. (2006, June). Potensi dan Keanekaragaman Tumbuhan Obat di Hutan Kalimantan dan Upaya Konservasinya. *E-Journal Analisis Kebijakan Kehutanan*, III(2), 95-107. doi:10.20886/jakk.2006.3.2.95-107
- Samedi. (2021, December). Konservasi Keanekaragaman Hayati di Indonesia: Rekomendasi Perbaikan Undang-Undang Konservasi. *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, II(2), 1-28. doi:10.38011/jhli.v2i2.23
- Samsudewa, D., Pujaningsih, R. I., & Ondho, Y. S. (2022). *Risalah Konservasi dan Satwa Harapan di Indonesia*. Purbalingga, Indonesia: CV. EUREKA MEDIA AKSARA.
- Supriatna, J. (2018). *Konservasi Biodiversitas: Teori dan Praktik di Indonesia*. Jakarta: Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Sutarno, & Setyawan, A. D. (2015). Biodiversitas Indonesia: Penurunan dan upaya pengelolaan untuk menjamin kemandirian bangsa. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia (Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon)*. 1, pp. 1-13. Depok: Smujo International. doi:10.13057/psnmbi/m010101
- Tuhumena, V. L. (2023). Ekosistem Terrestrial. In Rezki, M. GH, I. W. Suanda, Murdaningsih, J. I. Hutubessy, R. Damanik, . . . N. M. Safitri, *Ekologi Tumbuhan* (pp. 119-134). Padang, Sumatera Barat, Indonesia: Global Eksekutif Teknologi (GET) Press Indonesia.

Yuliani, E. L., Heri, V., Bakara, D. O., Sammy, J., & Ariesta, D. L. (2023). *Keanekaragaman Hayati - Pengenalan Materi untuk Pengembangan Kurikulum Merdeka dan Muatan Lokal Sekolah Dasar dan Sekolah Menengah Pertama di Kabupaten Kapuas Hulu*. Bogor, Jawa Barat, Indonesia: CIFOR dan Yayasan Riak Bumi. doi:10.17528/CIFOR/008808

BAB 3

DISTRIBUSI BIODIVERSITAS

Oleh Sukal Minsas

3.1 Pendahuluan

Biodiversitas, atau keanekaragaman hayati, merupakan variasi kehidupan di Bumi dalam segala bentuknya. Distribusi biodiversitas mengacu pada bagaimana organisme hidup tersebar di seluruh planet kita. Pemahaman tentang pola distribusi ini sangat penting untuk konservasi dan pengelolaan lingkungan yang efektif. Distribusi biodiversitas merujuk pada bagaimana keanekaragaman hayati mencakup jumlah dan variasi spesies, gen, dan ekosistem yang tersebar di seluruh dunia atau di dalam suatu wilayah tertentu. Distribusi ini mencerminkan bagaimana spesies dan komunitas ekologi tersebar di berbagai habitat, daerah geografis, dan skala waktu, dipengaruhi oleh faktor lingkungan, geografis, dan evolusi (Sutarno, 2015).



Gambar 3.1. Contoh biodiversitas dari hutan hujan tropis di Indonesia

Distribusi biodiversitas berdasarkan posisi geografis secara global menunjukkan bagaimana biodiversitas tersebar di seluruh planet, terutama di daerah tropis seperti hutan hujan Amazon dan Asia Tenggara, umumnya memiliki keanekaragaman hayati yang sangat tinggi dibandingkan dengan daerah lain seperti kutub. Posisi geografis secara regional maupun lokal menunjukkan bahwa variasi keanekaragaman hayati dalam wilayah geografis yang lebih kecil, seperti pegunungan, pulau, atau sungai tertentu, sehingga umumnya memiliki biodiversitas yang unik dan berbeda karena terisolasi secara geografis. Banyak spesies penghuni ekosistem yang memiliki pola distribusi berubah sesuai dengan musim di antaranya burung migran yang mungkin hanya berada di suatu daerah selama musim tertentu. Selain itu distribusi biodiversitas juga dapat berubah seiring waktu karena faktor-faktor seperti perubahan iklim, evolusi, pergeseran benua, dan aktivitas manusia seperti deforestasi dan urbanisasi (Manuwoto et al., 2006).

Keanekaragaman hayati bisa berbeda secara signifikan di berbagai ketinggian, seperti dari dasar laut hingga permukaan atau dari kaki gunung hingga puncak. Biasanya, semakin tinggi suatu ketinggian, semakin sedikit jumlah spesies, tetapi ada pengecualian seperti komunitas unik di ketinggian tertentu. Demikian juga dalam ekosistem hutan, terdapat perbedaan biodiversitas antara kanopi atas dan bawah, serta di antara lapisan tanah. Beberapa pola distribusi biodiversitas yang umum dikenal antara lain adalah gradien latitudinal, gradien altitudinal, hotspot biodiversitas dan endemisme (Mannion et al., 2014; Saupe, 2023) , yang dapat diuraikan pada sub bab berikut.

3.1.1 Gradien Latitudinal

Daerah tropis memiliki keanekaragaman spesies yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah beriklim sedang atau kutub. Pola gradien latitudinal biodiversitas adalah salah satu pola ekologi yang paling dikenal dan konsisten di bumi. Pola ini menunjukkan bahwa keanekaragaman spesies umumnya meningkat dari kutub menuju khatulistiwa. Daerah tropis menerima lebih banyak sinar matahari sepanjang tahun, mendukung produktivitas primer yang lebih tinggi, dan telah

menjadi lingkungan yang stabil selama periode geologi yang lebih lama. Hal tersebut memungkinkan spesies memiliki waktu yang lebih lama untuk berdiversifikasi. Kondisi iklim yang lebih stabil di daerah tropis, memungkinkan spesies untuk beradaptasi dan berevolusi dalam kisaran kondisi yang lebih sempit. Zona iklim tropis mencakup area yang lebih luas dibandingkan zona iklim lainnya, sehingga mendukung populasi yang lebih besar dan mengurangi risiko kepunahan. Contoh biodiversitas yang berpola gradien latitudinal adalah hutan hujan Amazon di Amerika Selatan, yang memiliki keanekaragaman spesies tumbuhan dan hewan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan hutan boreal di Kanada atau tundra di Siberia (Mannion et al., 2014).

Secara umum, biodiversitas dengan pola gradien latitudinal memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. Biodiversitas tertinggi ditemukan di daerah tropis, terutama di sekitar khatulistiwa.
2. Keanekaragaman spesies menurun secara bertahap saat bergerak ke arah kutub utara dan selatan.
3. Pola ini berlaku untuk berbagai kelompok organisme, termasuk tumbuhan, hewan darat, dan organisme laut.

3.1.2 Gradien Altitudinal

Gradien altitudinal biodiversitas mengacu pada perubahan keanekaragaman spesies seiring dengan perubahan ketinggian, terutama di daerah pegunungan. Keanekaragaman hayati cenderung menurun seiring dengan bertambahnya ketinggian di pegunungan. Puncak gunung dapat berfungsi sebagai pulau-pulau ekologis, mendorong spesiasi pada beberapa kelompok. Bertambahnya ketinggian akan berakibat pada menurunnya suhu, curah hujan berubah sehingga menciptakan zona iklim yang berbeda. Area yang tersedia umumnya berkurang seiring bertambahnya ketinggian, membatasi ruang untuk spesies. Kondisi yang lebih ekstrem di ketinggian tinggi (misalnya, angin kencang, radiasi UV tinggi) membatasi jumlah spesies yang dapat beradaptasi. Distribusi pola ini dapat ditunjukkan pada biodiversitas di Pegunungan

Andes, di mana keanekaragaman tumbuhan berbunga menurun secara signifikan, dari kaki gunung sampai ke puncak (Sutarno, 2015; Widodo, 2013). Meskipun demikian ada beberapa kelompok organisme seperti lumut dan lumut kerak menunjukkan pola yang berbeda. Biodiversitas dengan pola gradien altitudinal memiliki karakteristik antara lain :

1. Biodiversitas umumnya menurun seiring dengan bertambahnya ketinggian.
2. Pola ini dapat bervariasi tergantung pada kelompok organisme dan lokasi geografis.
3. Beberapa kelompok organisme mungkin menunjukkan puncak keanekaragaman pada ketinggian menengah.

3.1.3 Pola Hotspot

Beberapa area di Bumi memiliki konsentrasi spesies yang luar biasa tinggi, seperti hutan hujan Amazon dan terumbu karang Great Barrier Reef. Biodiversitas pola hotspot adalah area geografis tertentu yang memiliki tingkat keanekaragaman hayati yang luar biasa tinggi, terutama dalam hal spesies endemik (spesies yang hanya ditemukan di daerah tersebut), namun juga menghadapi ancaman serius terhadap keberadaannya (Brouwer et al., 2022; Mannion et al., 2014). Karakteristik utama untuk pola distribusi biodiversitas ini adalah :

1. Konsentrasi spesies yang sangat tinggi, terutama spesies endemik.
2. Tingkat kehilangan habitat yang signifikan.
3. Ukuran area yang relatif kecil dibandingkan dengan kekayaan biodiversitasnya.
4. Pentingnya global untuk konservasi keanekaragaman hayati.

Conservation International menetapkan kriteria khusus untuk biodiversitas dengan pola hotspot yaitu memiliki setidaknya 1.500 spesies tumbuhan vaskular endemik dan telah mengalami kehilangan atau penurunan diversitas sampai setidaknya 70% dari

habitat aslinya (Burung Indonesia, 2014; Sutarno, 2015). Beberapa faktor yang berkontribusi pada pembentukan hotspot:

1. Isolasi geografis yang memungkinkan evolusi spesies unik yang terisolasi dari populasi lain.
2. Stabilitas jangka panjang, area yang stabil secara geologis dan klimatologis dalam jangka waktu yang lama akan memungkinkan terjadinya evolusi dan diversifikasi spesies.
3. Heterogenitas habitat oleh adanya variasi topografi dan iklim mikro, yang menciptakan beragam niche ekologis.
4. Sejarah biogeografi menunjukkan pergerakan benua, perubahan iklim masa lalu, dan peristiwa geologis lainnya yang sangat mempengaruhi distribusi dan evolusi spesies.

Distribusi biodiversitas pola hotspot ini ditunjukkan pada beberapa ekosistem :

1. Hutan Atlantik Brasil yang meliputi pesisir timur Brasil, Paraguay timur, dan Argentina timur laut, terdiri dari 8.000 spesies tumbuhan endemik. Saat ini hanya tersisa sekitar 7% dari luas aslinya.
2. Madagaskar dan Kepulauan Samudera Hindia, meliputi Madagaskar dan pulau-pulau di sekitarnya yang memiliki 11.000 spesies tumbuhan endemik. Lebih dari 80% mamalia di Madagaskar tidak ditemukan di tempat lain di dunia.
3. Sundaland termasuk Indonesia bagian barat meliputi Semenanjung Malaya, Sumatra, Borneo, Jawa, dan pulau-pulau kecil di sekitarnya. Kawasan ini memiliki lebih dari 15.000 spesies tumbuhan endemik terdiri dari orangutan, harimau Sumatera, dan badak Jawa yang terancam punah.

Kawasan dengan distribusi biodiversitas pola hotspot memiliki berbagai tantangan dalam konservasi di antaranya adalah tekanan populasi manusia dan pembangunan, deforestasi dan fragmentasi habitat, perubahan iklim global, eksploitasi berlebihan sumber daya alam dan introduksi spesies invasif . Pada ekosistem dengan pola biodiversitas hotspot memungkinkan upaya konservasi yang terfokus pada area dengan dampak maksimal.

1. Indikator perubahan lingkungan, karena sensitif terhadap perubahan iklim dan gangguan manusia.
2. Sumber daya genetik, karena menyediakan gen potensial untuk pengembangan obat-obatan dan tanaman pertanian baru.
3. Layanan ekosistem yang berperan penting dalam siklus air, penyerapan karbon, dan stabilitas iklim lokal.

Memahami dan melindungi hotspot biodiversitas sangat penting untuk menjaga keanekaragaman hayati global. Meskipun hotspot hanya mencakup sekitar 2,3% dari permukaan daratan Bumi, mereka mengandung lebih dari 50% spesies tumbuhan vaskular dunia dan 42% spesies vertebrata darat sebagai endemik. Oleh karena itu, strategi konservasi yang efektif sering kali berfokus pada perlindungan dan pemulihan hotspot ini.

3.1.4 Endemisme

Beberapa spesies hanya ditemukan di lokasi geografis tertentu dan tidak ada di tempat lain di dunia. Endemisme mengacu pada situasi di mana suatu spesies atau takson yang lebih tinggi terbatas pada area geografis tertentu. Pola endemisme adalah aspek penting dari distribusi biodiversitas yang memberikan wawasan unik tentang evolusi dan biogeografi spesies (Morrone, 2008; Widodo, 2013). Karakteristik utama dari ekosistem dengan distribusi biodiversitas pola endemisme antara lain adalah :

1. Spesies endemik hanya ditemukan di satu lokasi geografis tertentu dan tidak ada di tempat lain secara alami.
2. Tingkat endemisme dapat bervariasi dari tingkat lokal (misalnya, satu pulau kecil) hingga tingkat regional (misalnya, suatu negara atau benua).
3. Endemisme sering kali tinggi di pulau-pulau terpencil, pegunungan yang terisolasi, dan danau-danau tua.

Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan dalam pola endemisme ini adalah adanya hambatan fisik seperti lautan, gunung, atau gurun dapat mengisolasi populasi dan mendorong evolusi yang berbeda (isolasi geografis), yang jika berlangsung dalam periode

waktu yang cukup lama, akan memungkinkan terjadinya evolusi karakteristik unik. Kondisi lingkungan yang unik juga dapat mendorong adaptasi khusus, demikian juga dengan kurangnya predator atau kompetitor dapat memungkinkan spesies untuk mengisi niche ekologis yang unik. Lingkungan yang stabil secara geologis dan klimatologis dalam jangka panjang dapat mendukung evolusi spesies yang sangat terspesialisasi (Morrone, 2007; Rohman et al., 2021).

Pola endemisme terbagi dalam beberapa kategori :

1. Paleoendemisme, spesies yang dulunya memiliki distribusi yang lebih luas tetapi sekarang terbatas pada area yang lebih kecil. Contoh: Tuatara di Selandia Baru.
2. Neoendemisme, spesies yang baru berevolusi dan belum menyebar luas. Contoh: Beberapa spesies *Drosophila* di Hawaii.
3. Endemisme reliktual, spesies yang tersisa dari kelompok yang lebih besar yang sebagian besar telah punah. Contoh: *Ginkgo biloba* di Tiongkok.

Contoh pola endemisme yang signifikan ditunjukkan pada kawasan :

1. Kepulauan Galapagos, di mana Sekitar 80% dari burung darat, 97% dari reptil dan mamalia darat, dan lebih dari 30% dari tumbuhan adalah endemik. Kura-kura raksasa Galapagos, Finch Darwin ada beberapa spesies endemik Galapagos.
2. Australia memiliki mamalia darat sekitar 85%, ikan air tawar sekitar 84 %, dan 45% dari populasi burung di kawasan tersebut adalah endemik. Kanguru, Koala, Platypus adalah spesies-spesies endemik di kawasan tersebut.
3. Madagaskar dengan sebesar lebih dari 90% reptil dan amfibi yang hidup di kawsan tersebut adalah endemik, seperti Lemur, Fossa, Baobab Madagaskar.
4. Pegunungan Andes, memiliki tingkat endemisme yang tinggi untuk tumbuhan alpine dan beberapa kelompok burung, seperti *Puya raimondii*, *Kondor*, *Andes*.

Pola endemisme dalam distribusi biodiversitas memiliki peran penting selain sebagai indikator evolusi yang memberikan wawasan tentang proses evolusi dan spesiasi, spesies endemik juga sering menjadi fokus utama dalam upaya konservasi karena keunikan dan rentannya terhadap kepunahan serta membantu dalam memahami sejarah geologi dan pergerakan benua. Banyak spesies endemik memiliki senyawa unik yang berpotensi untuk pengembangan obat-obatan atau produk lainnya.

Tantangan dalam usaha konservasi dengan distribusi pola endemisme antara lain adalah:

1. Rentannya terhadap perubahan lingkungan karena distribusi terbatas.
2. Ancaman dari spesies invasif yang dapat menggeser spesies endemik dari niche ekologisnya.
3. Overeksploitasi, terutama untuk spesies dengan nilai ekonomi atau estetika tinggi.
4. Perubahan iklim yang dapat mengubah kondisi habitat yang sesuai.

Area dengan tingkat endemisme tinggi sering kali menjadi prioritas untuk perlindungan karena keunikan biodiversitasnya. Namun, perlindungan spesies endemik juga memerlukan pendekatan yang hati-hati untuk menjaga keseimbangan ekosistem lokal.

Penting untuk dicatat bahwa meskipun pola-pola ini umum, ada banyak variasi dan pengecualian tergantung pada kelompok taksonomi tertentu, geografi lokal, dan faktor-faktor lain. Memahami nuansa dari pola-pola ini sangat penting untuk konservasi dan manajemen ekosistem yang efektif.

3.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Distribusi Biodiversitas

3.2.1 Faktor Abiotik

Faktor abiotik atau disebut dengan faktor non-hidup dalam suatu ekosistem, memiliki peran krusial dalam membentuk distribusi biodiversitas di seluruh dunia. Faktor ini menciptakan

kondisi yang memungkinkan atau membatasi keberadaan dan kesuksesan berbagai spesies di lokasi tertentu.

1. Iklim dan Topografi

Iklim dari suatu ekosistem meliputi suhu, curah hujan dan kelembaban akan berpengaruh terhadap kelangsungan biodiversitas yang ada dalam ekosistem tersebut. Suhu dapat mempengaruhi metabolisme, reproduksi, dan siklus hidup organisme seperti daerah tropis dengan suhu hangat di sepanjang tahun, yang mendukung biodiversitas yang lebih tinggi dibandingkan daerah kutub. Curah hujan juga dapat menentukan ketersediaan air dan jenis vegetasi seperti hutan hujan tropis yang memiliki biodiversitas yang sangat tinggi karena curah hujan yang melimpah, sementara gurun memiliki biodiversitas yang lebih rendah. Kelembaban dapat mempengaruhi kemampuan organisme untuk mempertahankan keseimbangan air, seperti pada beberapa spesies amfibi hanya dapat bertahan di lingkungan dengan kelembaban tinggi (Lubis, 2011).

Topografi adalah relief atau kenampakan alami maupun kultural (buatan) permukaan bumi berbentuk tiga dimensi yang meliputi perbedaan tinggi-rendah permukaan bumi dari permukaan laut (relief), bentuk wilayah, ketinggian, kemiringan, dan bentuk lereng. Ketinggian suatu kawasan ekosistem dapat menciptakan gradien suhu dan tekanan atmosfer, misalnya zonasi vertikal di pegunungan yang menciptakan habitat yang berbeda pada ketinggian yang berbeda, dan mendukung berbagai spesies yang beradaptasi dengan kondisi spesifik. Kemiringan kawasan dapat mempengaruhi aliran air, erosi, dan pembentukan tanah seperti lereng yang curam yang dapat mendukung spesies yang berbeda dibandingkan dengan dataran (Amosu A. O, 2012; Sutherland et al., 2014).

2. Jenis tanah, Cahaya serta Ketersediaan sumber dan nutrisi

Jenis tanah kawasan ekosistem dapat menentukan komposisi mineral dan mempengaruhi nutrisi yang tersedia

bagi tumbuhan. Misalnya tanah kapur mendukung komunitas tumbuhan yang berbeda dibandingkan tanah asam. Tekstur tanah juga mempengaruhi retensi air dan aerasi, misalnya tanah berpasir akan mendukung vegetasi yang berbeda dibandingkan tanah liat. Di sisi lain, pencahayaan suatu ekosistem tergantung pada intensitas dan durasi, secara signifikan berpengaruh terhadap berlangsungnya proses fotosintesis dan perilaku hewan. Kawasan hutan hujan tropis memiliki stratifikasi vertikal yang jelas, dengan spesies yang berbeda beradaptasi dengan tingkat cahaya yang berbeda. Ketersediaan sumber-sumber air dan nutrisi seperti keberadaan sungai, danau, air tanah mempengaruhi distribusi organisme akuatik dan terestrial. Hal ini ditunjukkan pada oasis di gurun mendukung biodiversitas yang jauh lebih tinggi dibandingkan area sekitarnya. Sumber air dengan kadar salinitas dapat menjadi pembatas distribusi organisme. Berdasarkan toleransi garam, mangrove merupakan spesies dengan kemampuan beradaptasi khusus untuk hidup di air payau (Darnaedi, 2021; Manuwoto et al., 2006).

3. Faktor Geologi

Keberadaan bebatuan dalam suatu ekosistem dengan berbagai jenisnya akan mempengaruhi pembentukan tanah dan topografi, misalnya batu kapur sering mendukung ekosistem karst yang unik dengan spesies endemik. Demikian juga dengan adanya aktivitas tektonik yang dapat menciptakan penghalang atau koridor bagi penyebaran spesies. Hal ini ditunjukkan pada pembentukan Pegunungan Andes telah menyebabkan spesiasi yang cepat di Amerika Selatan.

3.2.2 Interaksi Faktor Abiotik dan Pengaruhnya terhadap Distribusi

Faktor-faktor abiotik tidak bekerja secara terpisah, melainkan berinteraksi dalam cara yang kompleks.

1. Efek sinergis yaitu kombinasi beberapa faktor dapat saling memperkuat pengaruhnya. Ini ditunjukkan pada kombinasi faktor suhu tinggi dan curah hujan rendah bersama-sama menciptakan kondisi gurun yang ekstrem.
2. Efek kompensasi yaitu efek kombinasi beberapa faktor di mana faktor yang satu dapat mengimbangi pengaruh dari faktor lain, seperti pada kelembaban tinggi yang dapat memungkinkan beberapa spesies bertahan di suhu yang lebih tinggi.
3. Pembentukan mikroklimat yaitu interaksi faktor lokal dengan faktor lainnya yang dapat menciptakan kondisi unik dalam skala kecil. Lembah yang terlindung di pegunungan dapat mendukung spesies yang biasanya ditemukan di ketinggian yang lebih rendah.

Dengan adanya pemahaman tentang pengaruh faktor abiotik terhadap distribusi biodiversitas ini akan sangat membantu dalam memprediksi perubahan distribusi spesies akibat perubahan iklim serta merancang koridor ekologi yang efektif untuk menghubungkan habitat yang terfragmentasi. Pemahaman ini juga akan memudahkan kita dalam mengidentifikasi area potensial untuk restorasi habitat serta melakukan pengelolaan spesies invasif dengan memahami batasan abiotik mereka. Faktor abiotik memainkan peran fundamental dalam membentuk distribusi biodiversitas global. Interaksi kompleks antara berbagai faktor abiotik menciptakan mosaik kondisi lingkungan yang mendukung keanekaragaman kehidupan di Bumi. Memahami pengaruh faktor-faktor ini tidak hanya penting untuk ilmu ekologi, tetapi juga krusial untuk upaya konservasi dan manajemen lingkungan yang efektif di era perubahan global yang cepat.

3.2.3 Faktor Biotik

Faktor biotik, atau faktor hidup dalam suatu ekosistem, memiliki peran yang sama pentingnya dengan faktor abiotik dalam membentuk distribusi biodiversitas. Interaksi antar organisme dan pengaruh mereka terhadap lingkungan dapat secara signifikan mempengaruhi keberadaan, kelimpahan, dan penyebaran spesies.

1. Interaksi Antar Spesies

- a. Kompetisi intraspesifik (dalam spesies yang sama) dan interspesifik (antar spesies berbeda) dapat membatasi distribusi spesies. Hal ini ditunjukkan pada dua spesies yang bersaing untuk sumber daya yang sama tidak dapat berkoeksistensi dalam jangka panjang di habitat yang sama.
- b. Predasi, di mana keberadaan predator dapat membatasi distribusi mangsa, misalnya pada introduksi rubah di Australia telah menyebabkan penurunan populasi dan perubahan distribusi beberapa spesies mamalia kecil asli.
- c. Herbivori, interaksi yang antar komunitas yang dapat mempengaruhi komposisi dan struktur komunitas tumbuhan. Contohnya adalah gajah di savana Afrika membentuk lanskap dengan menciptakan area terbuka dalam hutan, mempengaruhi distribusi spesies tumbuhan dan hewan lainnya.
- d. Simbiosis yang terdiri dari simbiosis mutualisme (saling menguntungkan), komensalisme (pihak satu untung atas pihak lainnya yang merasa tidak dirugikan), dan parasitisme (yang satu merugikan yang lainnya), dapat mempengaruhi distribusi spesies yang terlibat. Distribusi anggrek epifit tergantung pada ketersediaan pohon inang yang sesuai, dapat disebut sebagai simbiosis komensalisme.

2. Penyebaran dan Dispersal

Kemampuan organisme untuk menyebar ke habitat baru lainnya dapat mempengaruhi distribusinya, seperti pada burung dan kelelawar yang berperan dalam penyebaran biji, mempengaruhi distribusi spesies tumbuhan.

3. Modifikasi Habitat oleh Organisme

Beberapa spesies bertindak sebagai "insinyur ekosistem", mengubah lingkungan fisik. Contoh: Berang-berang membangun bendungan, menciptakan habitat baru untuk spesies akuatik dan semi-akuatik.

4. Suksesi Ekologis

Perubahan komunitas biologis dari waktu ke waktu mempengaruhi distribusi spesies. Contoh: Setelah kebakaran hutan, spesies pionir muncul pertama kali, diikuti oleh serangkaian komunitas yang berbeda seiring waktu.

5. Ketersediaan Makanan

Distribusi sumber makanan mempengaruhi distribusi konsumen. Contoh: Migrasi tahunan burung-burung pantai mengikuti ketersediaan invertebrata di sepanjang rute migrasi mereka.

6. Penyerbukan dan Penyebaran Biji

Ketersediaan penyerbuk dan penyebar biji mempengaruhi distribusi tumbuhan. Contoh: Hilangnya kelelawar penyerbuk di beberapa pulau dapat membatasi distribusi spesies tumbuhan tertentu.

Pemahaman tentang pengaruh faktor biotik terhadap distribusi biodiversitas sangat penting untuk membantu dalam merancang strategi konservasi yang mempertimbangkan interaksi antar spesies dan memprediksi dampak hilangnya spesies kunci atau perubahan dalam komunitas biologis. Demikian juga dengan pengelolaan spesies invasif, akan memudahkan dalam memahami interaksi mereka dengan spesies asli, sehingga menjadi pengarah yang strategis dalam merancang proyek restorasi ekosistem yang mempertimbangkan kompleksitas interaksi biotik. Faktor biotik memainkan peran yang sangat penting dalam membentuk distribusi biodiversitas. Interaksi kompleks antar organisme menciptakan dinamika yang terus berubah dalam ekosistem, mempengaruhi keberadaan dan kelimpahan spesies di berbagai skala. Memahami pengaruh faktor-faktor biotik ini tidak hanya penting untuk ilmu ekologi, tetapi juga krusial untuk upaya konservasi dan manajemen lingkungan yang efektif. Kombinasi pemahaman faktor abiotik dan

biotik memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang bagaimana biodiversitas terdistribusi di planet kita dan bagaimana kita dapat lebih baik dalam melestarikannya.

3.2.4 Faktor Evolusi dan Sejarah

Faktor evolusi dan sejarah memainkan peran krusial dalam membentuk pola distribusi biodiversitas yang kita lihat saat ini. Proses evolusi yang berlangsung selama jutaan tahun, dikombinasikan dengan peristiwa geologis dan klimatologis besar, telah secara signifikan mempengaruhi di mana dan bagaimana spesies terdistribusi di seluruh dunia.

1. Evolusi dan Adaptasi

Seleksi alam dan adaptasi memungkinkan spesies untuk menempati niche ekologis tertentu. Contoh: Burung finch Galapagos yang diteliti Darwin menunjukkan adaptasi bentuk paruh untuk berbagai sumber makanan, memungkinkan mereka menempati niche yang berbeda di pulau-pulau yang berbeda. Proses pembentukan spesies baru, baik melalui isolasi geografis (spesiasi alopatrik) atau tanpa isolasi lengkap (spesiasi simpatrik). Contoh: Cichlid di Danau Victoria, Afrika Timur, telah mengalami spesiasi cepat, menghasilkan ratusan spesies endemik dalam waktu geologis yang relatif singkat.

Teori tektonik lempeng dan pergerakan benua telah mempengaruhi distribusi global spesies. Contoh: Isolasi Australia selama jutaan tahun telah menghasilkan fauna unik seperti monotremata (mamalia bertelur) dan marsupial. Siklus glasial dan interglasial telah menyebabkan pergeseran besar dalam distribusi spesies. Contoh: Selama zaman es terakhir, banyak spesies Eropa bermigrasi ke selatan, kemudian kembali ke utara saat iklim menghangat, membentuk pola distribusi saat ini. Kepunahan besar-besaran di masa lalu telah membuka niche ekologis untuk radiasi adaptif spesies yang bertahan hidup. Contoh: Kepunahan dinosaurus non-avian pada akhir zaman Kretaseus membuka jalan bagi radiasi adaptif mamalia.

2. Dispersal dan Kolonisasi

Penyebaran spesies ke area baru dan kolonisasi habitat yang sebelumnya tidak dihuni. Contoh: Kolonisasi pulau-pulau

vulkanik baru oleh tumbuhan dan hewan melalui berbagai mekanisme dispersal. Pemisahan populasi oleh hambatan geografis, yang mengarah pada evolusi terpisah. Contoh: Pembentukan Terusan Panama memisahkan populasi laut, menyebabkan evolusi terpisah spesies di Samudra Pasifik dan Atlantik. Pulau-pulau sering memiliki tingkat endemisme tinggi karena isolasi geografis, seperti Lemur di Madagaskar telah berevolusi secara terpisah selama jutaan tahun, menghasilkan banyak spesies endemik. Beberapa spesies atau kelompok taksonomi di antaranya juga memiliki distribusi yang terputus-putus. Misalnya : distribusi disjunktif pohon Ginkgo biloba, yang dulu tersebar luas tetapi sekarang hanya asli di bagian kecil Tiongkok. Spesies yang bertahan dari kelompok yang sebagian besar telah punah. Contoh: Tuatara di Selandia Baru, satu-satunya anggota yang masih hidup dari ordo Rhynchocephalia. Diversifikasi cepat dari satu nenek moyang menjadi berbagai spesies yang menempati niche berbeda. Contoh: Radiasi adaptif kaktus di gurun Amerika, menghasilkan berbagai bentuk yang beradaptasi dengan kondisi kering.

Dengan pemahaman tentang pengaruh evolusi pada distribusi biodiversitas ini, maka akan sangat membantu dalam merekonstruksi sejarah evolusi dan biogeografi spesies, serta sangat membantu dalam memprediksi tentang bagaimana spesies tertentu memiliki kemampuan untuk merespons perubahan iklim yang terjadi saat ini. Area dengan sejarah evolusi yang unik atau tingkat endemisme tinggi sering menjadi prioritas untuk konservasi, sekaligus memberikan wawasan tentang potensi spesies untuk menjadi invasif jika diperkenalkan ke habitat baru. Pemahaman tentang sejarah evolusi dan distribusi historis spesies penting dalam merancang proyek restorasi ekologi. Faktor evolusi dan sejarah memberikan konteks penting untuk memahami pola distribusi biodiversitas yang kita amati saat ini. Proses evolusi yang berlangsung lama, dikombinasikan dengan peristiwa geologis dan klimatologis besar, telah membentuk lanskap biodiversitas global. Memahami faktor-faktor ini tidak hanya penting untuk ilmu evolusi dan ekologi, tetapi juga krusial untuk upaya

konservasi dan manajemen biodiversitas di era perubahan global yang cepat. Dengan mempertimbangkan perspektif historis dan evolusioner ini, kita dapat lebih baik dalam memprediksi, mengelola, dan melestarikan keanekaragaman hayati untuk generasi mendatang.

3.2.5 Faktor Antropogenik

Faktor antropogenik, atau faktor yang disebabkan oleh aktivitas manusia, telah menjadi salah satu pengaruh paling signifikan terhadap distribusi biodiversitas global dalam beberapa abad terakhir. Dampak manusia telah mengubah lanskap, iklim, dan ekosistem di seluruh dunia, menyebabkan perubahan dramatis dalam pola distribusi banyak spesies (Darmadi et al., 2018; Eddy et al., 2015).

1. Alih Fungsi Lahan dan Perubahan Iklim Antropogenik

Deforestasi, urbanisasi, dan perluasan lahan pertanian mengubah habitat alami sehingga berdampak pada terjadinya fragmentasi habitat, penurunan populasi spesies, dan perubahan pola distribusi. Contohnya pada deforestasi Amazon telah mengubah distribusi banyak spesies endemik, mendorong beberapa ke ambang kepunahan. Demikian pun dengan pemanasan global akibat emisi gas rumah kaca yang telah mengubah kondisi iklim dan berdampak pada terjadinya pergeseran rentang geografis spesies, perubahan waktu migrasi, dan ketidaksesuaian fenologis. Fenomena ini dapat dilihat pada banyaknya spesies alpine yang bergerak ke elevasi yang lebih tinggi sebagai respons terhadap pemanasan. Pencemaran udara, air, dan tanah mempengaruhi kualitas habitat karena dapat menyebabkan terjadinya penurunan populasi spesies sensitif, perubahan komposisi komunitas. Contoh: Hujan asam telah mengubah distribusi spesies tumbuhan di banyak hutan Eropa.

2. Introduksi Spesies Invasif dan Eksploitasi Berlebihan

Perpindahan spesies oleh manusia ke habitat baru berdampak pada ekosistem karena adanya kompetisi dengan spesies asli menimbulkan sifat predasi. Contohnya

introduksi ular pohon coklat ke Guam telah menyebabkan kepunahan lokal banyak spesies burung asli. Demikian juga dengan pemanenan berlebihan sumber daya alam, termasuk perburuan dan penangkapan ikan, berdampak terhadap penurunan populasi spesies target dan perubahan struktur trofik ekosistem. Contohnya seperti pada penangkapan ikan berlebihan di banyak lautan dunia telah mengubah distribusi dan kelimpahan banyak spesies ikan (Abywijaya, I. A., Hikmat, A., dan Widyatmoko, 2014; Tjitrosoedirdjo et al., 2016).

3. Pembangunan Infrastruktur dan urbanisasi

Pembangunan jalan, bendungan, dan penghalang buatan lainnya berdampak pada fragmentasi habitat dan gangguan pola migrasi. Hal ini tampak pada bendungan yang dibuat pada sungai-sungai besar telah mengubah distribusi ikan migratori seperti salmon. Demikian juga dengan pertumbuhan kota dan daerah perkotaan akibat urbanisasi berdampak pada hilangnya habitat alami, penciptaan *heat islands* dan perubahan pola distribusi spesies urban-adaptor. Ini ditunjukkan [ada beberapa spesies burung dan mamalia telah beradaptasi dengan lingkungan perkotaan, mengubah pola distribusi mereka.

Faktor antropogenik telah menjadi kekuatan dominan dalam membentuk distribusi biodiversitas global dalam era modern. Dampak aktivitas manusia telah mengubah lanskap, iklim, dan dinamika ekosistem di seluruh dunia, menyebabkan perubahan dramatis dalam pola distribusi banyak spesies. Memahami pengaruh faktor-faktor antropogenik ini sangat penting untuk merancang strategi konservasi yang efektif dan mengelola biodiversitas dalam konteks perubahan global yang cepat. Meskipun tantangan yang ditimbulkan oleh faktor antropogenik sangat besar, pemahaman kita yang meningkat tentang dampak ini juga membuka peluang untuk mitigasi dan adaptasi. Dengan menggabungkan pengetahuan ilmiah, inovasi teknologi, dan komitmen global untuk konservasi, kita memiliki

kesempatan untuk membentuk masa depan yang lebih berkelanjutan di mana manusia dan alam dapat berkembang bersama (Fauzan & Milantara, 2024; Sudarso et al., 2013).

3.3 Tantangan Dan Implikasi Dari Distribusi Biodiversitas

Bagaimanakah tantangan biodiversitas di masa yang akan datang ?

1. *Perubahan Iklim*

Meningkatnya suhu global mengganggu ekosistem, mengubah distribusi spesies, dan menyebabkan kepunahan beberapa organisme yang tidak mampu beradaptasi. Untuk itu, perlu menerapkan strategi kebijakan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca melalui energi terbarukan, efisiensi energi, dan teknologi penyerapan karbon. Untuk mencegah terjadinya migrasi spesies, perlu merancang ekosistem yang lebih tangguh dengan melindungi area penting dan membangun koridor ekologi, serta memulihkan habitat yang rusak untuk mendukung adaptasi spesies terhadap perubahan iklim (Amosu A. O, 2012; Higuchi, 2008).

2. *Perubahan Habitat*

Deforestasi, urbanisasi, dan ekspansi lahan pertanian mengurangi habitat alami, mengancam kelangsungan hidup banyak spesies. Untuk itu perlu usaha untuk meminimalkan deforestasi dan memperkenalkan praktik pertanian ramah lingkungan seperti agroforestri, yang mempertahankan keanekaragaman hayati sambil memenuhi kebutuhan pangan. Usaha-usaha tersebut seperti merancang kota yang ramah lingkungan dengan ruang hijau yang luas dan infrastruktur yang mendukung biodiversitas dan perluasan kawasan konservasi untuk melindungi lebih banyak kawasan yang kaya biodiversitas dari konversi lahan, baik di darat maupun di laut (Amri et al., 2011; Noris, 2021).

3. *Eksplorasi Berlebih*

Penangkapan ikan berlebihan, penebangan hutan, dan perburuan ilegal terus menekan populasi spesies tertentu, sehingga perlu melakukan upaya pengelolaan sumber daya berbasis ekosistem dengan menerapkan batas kuota eksploitasi

sumber daya seperti perikanan, dengan memperhatikan keseimbangan ekosistem. Selain itu juga, perlu mengembangkan praktik perikanan dan kehutanan yang berkelanjutan, termasuk aquakultur ramah lingkungan dan hutan produksi yang dikelola secara lestari dan menguatkan penegakan hukum terhadap kegiatan ilegal seperti perburuan liar dan penangkapan ikan ilegal.

4. *Pencemaran*

Polusi plastik, logam berat, dan bahan kimia berbahaya lainnya menurunkan kualitas habitat dan memengaruhi kesehatan organisme. Untuk itu, perlu usaha pengurangan limbah melalui pengurangan produksi plastik sekali pakai dan memperluas sistem daur ulang, dan mendorong penggunaan teknologi yang lebih bersih dan ramah lingkungan di industri untuk mengurangi polusi udara, tanah, dan air. Selain itu juga perlu pengembangan sistem pemantauan polusi yang lebih baik serta menerapkan upaya restorasi untuk menghilangkan kontaminan dari ekosistem (Fauzan & Milantara, 2024).

5. *Spesies Invasif*

Kehadiran spesies invasif terhadap biodiversitas di masa yang akan datang sangat serius karena spesies invasif sering kali lebih kompetitif dalam hal penggunaan sumber daya seperti makanan, air, dan habitat, yang menyebabkan spesies asli mengalami penurunan populasi atau bahkan kepunahan lokal. Hal ini dapat mengurangi keanekaragaman hayati dalam ekosistem. Spesies invasif dapat mengganggu jaringan makanan alami dengan menjadi predator, herbivora, atau parasit yang tidak memiliki kontrol alami di habitat baru mereka. Ini dapat menyebabkan kerusakan pada seluruh rantai ekologi, mengancam keseimbangan ekosistem. Spesies invasif, seperti tanaman invasif, sering kali mengubah struktur fisik habitat (Homans, 2014; Tjitrosoedirdjo et al., 2016). Mereka dapat mengurangi kualitas tanah, merusak ekosistem perairan, atau bahkan mengubah iklim mikro di suatu area, membuat lingkungan tersebut tidak lagi cocok bagi spesies asli. Spesies invasif bisa menjadi pembawa penyakit yang tidak biasa ditemukan di wilayah baru,

membahayakan spesies lokal yang tidak memiliki kekebalan atau adaptasi untuk menghadapi patogen tersebut. Ini meningkatkan risiko kepunahan spesies lokal. Sektor-sektor seperti perikanan, pertanian, dan pariwisata dapat terkena dampak besar. Spesies invasif yang menyerang lahan pertanian atau perairan dapat mengurangi hasil panen dan tangkapan, sementara kerusakan pada keanekaragaman hayati dapat menurunkan daya tarik destinasi wisata alami.

Di masa yang akan datang, penyebarab spesies invasif berpotensi lebih masif dan reaktif karena adanya perdagangan dan perjalanan internasional yang meningkat, melalui transportasi kargo, balast air kapal, maupun dalam perdagangan hewan dan tanaman eksotis. Tantangan ini dapat diatasi dengan adanya kolaborasi internasional dalam hal regulasi perdagangan, pengembangan teknologi untuk pemantauan dan kontrol, serta peningkatan kesadaran masyarakat tentang dampak spesies invasif. Pengembangan solusi ini memerlukan pendekatan lintas sektor, termasuk kebijakan, teknologi, edukasi, dan partisipasi masyarakat luas (Rohman et al., 2021; Widodo, 2013).

3.4 Kesimpulan

Biodiversitas didistribusikan secara tidak merata di seluruh dunia, dengan keanekaragaman yang paling tinggi terdapat di daerah tropis dan menurun menuju kutub. Distribusi ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti iklim, topografi, produktivitas ekosistem, serta interaksi antara spesies. Iklim yang stabil, curah hujan yang tinggi, dan suhu hangat di daerah tropis menciptakan kondisi yang mendukung tingginya keanekaragaman spesies.

Secara garis besarnya, faktor-faktor yang mempengaruhi biodiversitas meliputi :

1. Perubahan iklim yang berdampak terhadap distribusi spesies dan kemampuan untuk beradaptasi.
2. Aktivitas antropogenik yang menyebabkan deforestasi, urbanisasi, dan ekspansi lahan pertanian yang mengurangi habitat alami atau menyebabkan terjadinya perubahan

habitat. Selain itu eksploitasi berlebih dapat mengurangi populasi spesies tertentu, seperti akibat penangkapan ikan berlebihan atau perburuan liar, sedangkan spesies invasif dapat mengancam spesies lokal dengan kompetisi, predasi, dan penyebaran penyakit. Pencemaran lingkungan berpotensi menurunkan kualitas habitat, merusak kesehatan spesies, dan ekosistem secara keseluruhan.

Di masa depan, tantangan bagi biodiversitas akan semakin kompleks karena perubahan iklim yang lebih cepat, peningkatan kegiatan manusia, dan penyebaran spesies invasif. Untuk menghadapinya, diperlukan upaya global yang terkoordinasi dalam pengelolaan sumber daya alam, pelestarian habitat, dan mitigasi dampak dari perubahan lingkungan serta aktivitas manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- Abywijaya, I. A., Hikmat, A., dan Widyatmoko, D. (2014). Keanekaragaman dan Pola Sebaran Spesies Tumbuhan Asing Invasif di Cagar Alam Pulau Sempu, Jawa Timur (Diversity and Distribution Pattern of Invasive Alien Plant Species in Sempu Island Nature Reserve, East Java). *Jurnal Biologi Indonesia*, 10(2), 221–235.
- Amosu A. O. (2012). Impact of climate change and anthropogenic activities on renewable coastal resources and biodiversity in Nigeria. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 4(8). <https://doi.org/10.5897/jene11.104>
- Amri, K., Setiadi, D., Qayim, I., & Djokosetiyanto, D. (2011). Dampak Aktivitas Antropogenik terhadap Kualitas Perairan Habitat Padang Lamun di Kepulauan Spermonde Sulawesi Selatan. *Jurnal Pesisir Dan Pantai Indonesia VI*, 1(X), 19–31. <https://core.ac.uk/download/pdf/25490777.pdf>
- Brouwer, N., Connuck, H., Dubniczki, H., Gownaris, N., Howard, A., Olmsted, C., Wetzel, D., Whittinghill, K., & Wilson, A. (2022). *Ecology for All*. 1–748. <https://bio.libretexts.org/@go/page/107255>
- Burung Indonesia. (2014). *Hotspot keragaman hayati wallacea*. 39. https://www.cepf.net/sites/default/files/final.bahasa.sunda.land.sumatra.ep_.pdf
- Darmadi, Pelly, U., & Setiawan, D. (2018). Kerusakan Antropogenik dalam Ekosistem Hutan Cot Girek. *Jurnal Antropologi Sumatera*, 16(1), 7–16.
- Darnaedi, D. (2021). Keanekaragaman Tumbuhan Indonesia dalam Perspektif sebagai Habitat berbagai Jenis Satwa. *Metode Dan Kajian Konservasi Biodiversitas Indonesia*, 10, 265–274. <http://www.obor.or.id>
- Eddy, S., Mulyana, A., Ridho, M. R., & Iskandar, I. (2015). Dampak Antropogenik Terhadap Degradasi Hutan Mangrove Di Indonesia. *Jurnal Lingkungan Dan Pembangunan, Vol.1*(3), 240–254. <https://doi.org/10.31219/osf.io/xd9cb>
- Fauzan, F., & Milantara, N. (2024). Dampak Aktivitas Antropogenik Terhadap Keanekaragaman Amfibi Di Daerah Aliran Sungai

- Batang Kuranji Kota Padang. *Menara Ilmu*, 18(1), 37–44.
<https://doi.org/10.31869/mi.v18i1.4867>
- Higuchi, H. (2008). Impacts of Climate Change on Biodiversity. *Journal of Disaster Research*, 3(2), 98–104.
<https://doi.org/10.20965/jdr.2008.p0098>
- Homans, F. (2014). Invasive Species. *Environmental and Natural Resource Economics: An Encyclopedia*, November 2013, 194–196. <https://doi.org/10.5818/1529-9651.18.2.61>
- Lubis, D. P. (2011). Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Keanekaragaman Hayati Di Indonesia. *Jurnal Geografi*, 3(2), 107–117.
- Mannion, P. D., Upchurch, P., Benson, R. B. J., & Goswami, A. (2014). The latitudinal biodiversity gradient through deep time. *Trends in Ecology and Evolution*, 29(1), 42–50.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.09.012>
- Manuwoto, S., Buchori, D., Hidayat, P., & Budiprasetyo, L. (2006). *Analisis Spasial Lanskap Pertanian dan Keanekaragaman Hymenoptera di Daerah Aliran Sungai Cianjur Spatial Analysis of Agricultural Landscape and Hymenoptera Biodiversity at Cianjur Watershed*. 13(4), 137–144.
- Morrone, J. J. (2007). Hacia una biogeografía evolutiva Towards an evolutionary biogeography. *Revista Chilena de Historia Natural*, 80(January 2010), 509–520.
- Morrone, J. J. (2008). Endemism. *Encyclopedia of Ecology, Five-Volume Set*, 1–5(October), 1254–1259.
<https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00786-2>
- Noris, M. (2021). Makrozoobhentos di Pesisir Pantai Kalaki Kec. Palibelo Kab. Bima Nusa Tenggara Barat. *Bioedukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*, 13(2), 86.
<https://doi.org/10.20961/bioedukasi-uns.v13i2.42068>
- Rohman, N. A., Qohar, I. A., Puspita, N. T., Sugeng, P., Winarno, G. D., & Dewi, B. S. (2021). Analisis Keanekaragaman Fauna Study Kasus Pada 24 (Dua Puluh Empat) Taman Nasional Di Indonesia. *Journal of People, Forest and Environment*, 1(2), 1–10.
- Saupe, E. E. (2023). Explanations for latitudinal diversity gradients must invoke rate variation. *Proceedings of the National*

- Academy of Sciences of the United States of America*, 120(33), 1–6. <https://doi.org/10.1073/pnas.2306220120>
- Sudarso, J., Wardiatno, Y., Setiyanto, D. D., & Anggraitoningsih, W. (2013). Pengaruh Aktivitas Antropogenik di Sungai Ciliwung Terhadap Komunitas Larva Trichoptera. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 20(1), 68–83.
- Sutarno. (2015). *Biodiversitas Indonesia: Penurunan dan upaya pengelolaan untuk menjamin kemandirian bangsa*. 1, 1–13. <https://doi.org/10.13057/psnmmbi/m010101>
- Sutherland, W. J., Aveling, R., Brooks, T. M., Clout, M., Dicks, L. V., Fellman, L., Fleishman, E., Gibbons, D. W., Keim, B., Lickorish, F., Monk, K. A., Mortimer, D., Peck, L. S., Pretty, J., Rockström, J., Rodríguez, J. P., Smith, R. K., Spalding, M. D., Tonneijck, F. H., & Watkinson, A. R. (2014). A horizon scan of global conservation issues for 2014. *Trends in Ecology and Evolution*, 29(1), 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.11.004>
- Tjitrosoedirdjo, S., Setyawati, T., Sunardi, Aubiakt, A., Irianto, R. S., & Garsetiasih, R. (2016). Analisis Risiko Tumbuhan Asing Invasif. *FORIS Indonesia*, 1–48.
- Widodo. (2013). Kajian Fauna Burung Sebagai Indikator Lingkungan Di Hutan Gunung Sawal, Kabupaten Ciamis, Jawa Barat. *Proceeding Biology Education Conference*, 10(1), 1–12.

BAB 4

BIODIVERSITAS DI INDONESIA

Oleh Eneng Rahmi

4.1 Pendahuluan

Indonesia sebagai negara yang dikenal sebagai negara yang memiliki megabiodiversitas tentunya menjadi sebuah kebanggaan, keuntungan sekaligus tantangan dalam menjaga kelestariannya. Berdasarkan hasil penelitian dinyatakan bahwa 1,75% spesies dunia ditemukan di Indonesia atau sekitar 31.750 dari 1.812.700 spesies (Setiawan A., 2022). Demikian pula dengan ragam ekosistemnya yang tersebar diseluruh wilayah Indonesia, tentunya mengandung banyak kandungan spesies yang sangat khas dari setiap jenis ekosistemnya. Data lainya menyampaikan bahwa biodiversitas di Indonesia meliputi 15,5% dari spesies dunia untuk flora dan 10% dari spesies dunia untuk fauna (Kementerian lingkungan hidup dan kehutanan Indonesia, 2014).

Biodiversitas atau keanekaragaman hayati kita kenal sebagai ragam variasi dari makhluk hidup, penyusun makhluk hidup dan lingkungannya. Dalam hal ini keanekaragaman hayati dapat meliputi keanekaragaman genetik, keanekaragaman spesies (tumbuhan, hewan, dan mikroba) hingga keanekaragaman ekosistem. Biodiversitas diberbagai tingkatan di Indonesia tergolong tinggi. Hal ini menyebabkan tantangan tersendiri dalam melestarikannya. Dengan kata lain, semakin tinggi biodiversitas pada suatu wilayah maka semakin rentan pula akan kepunahan dari biodiversitas tersebut.

Biodiversitas menyediakan ragam manfaat bagi manusia diantaranya keberlanjutan ekosistem dan kehidupan, sumber pangan, sumber obat-obatan, dan sumber kebudayaan. Ragam manfaat yang diberikan atas biodiversitas di Indonesia belum sepenuhnya dimengerti oleh para pemangku kebijakan. Tidak memadainya pengetahuan mengenai pengetahuan dan fungsi biodiversitas pada pemerintahan lokal dan provinsi disebabkan

karena rendahnya publikasi kebijakan biodiversitas dan juga rendahnya sinergitas program terkait biodiversitas. Hal ini tentunya menyebabkan tidak dikenalnya isu biodiversitas yang menyebabkan rendahnya partisipasi pemangku kebijakan yang mengakibatkan rendahnya monitoring dan evaluasi dari institusi lokal (Kementerian lingkungan hidup dan kehutanan Indonesia, 2014)

Saat ini Indonesia termasuk pada negara berkembang yang sedang giat dalam meningkatkan pembangunan diberbagai sektor, khususnya industri dan perumahan. Hal ini tentunya akan mengeluarkan kebijakan alih fungsi lahan yang akan mengancam biodiversitas. Selain perubahan tata guna lahan, hal yang mengancam penurunan biodiversitas diantaranya masuknya *invasif alien species*, terjadinya polusi, eksploitasi yang berlebihan serta terjadinya perubahan iklim (Kementerian lingkungan hidup dan kehutanan Indonesia, 2014). Oleh karena itu, menjadi penting untuk dilakuk

Dalam rangka melakukan pelestarian terhadap biodiversitas maka sangat penting bagi kita untuk terus mengedukasi seluruh lapisan pemangku kepentingan agar mampu menjaga keseimbangan alam dan melestarikan alam untuk generasi selanjutnya. Hal ini akan lebih kuat apabila dibuatkan sebuah hukum yang mengatur biodiversitas secara khusus (Lubis, 2021). Dengan demikian diharapkan kekuatan hukum dan kesadaran masyarakat akan mampu menjaga kelestarian biodiversitas di Indonesia.

4.2 Biodiversitas Genetika

Biodiversitas genetika merupakan keanekaragaman genetika yang terdapat dalam suatu populasi atau spesies. Hal ini terjadi disebabkan adanya perbedaan dalam urutan DNA di antara spesies tersebut. Perbedaan urutan DNA tersebut akan memberikan pengaruh pada berbagai sifat diantaranya perbedaan karakteristik fisik, perbedaan ketahanan terhadap penyakit, dan perbedaan kemampuan adaptasi terhadap perubahan lingkungan (Sujiprihati S. and Syukur M., 2012).

Letak Indonesia sebagai negara tropis dengan sebaran geografis yang bervariasi menyebabkan tingkat biodiversitasnya

pun tinggi. Hal ini tentu sinergi dengan tingginya sumber daya genetika (Plasma Nutfah) yang dimilikinya. Plasma nutfah yang tinggi merupakan sebuah modal dasar yang sangat diperlukan untuk mengembangkan industri pertanian, khususnya dalam mengembangkan varietas/kultivar baru. Hal ini seharusnya menjadi peluang besar dalam rangka memenuhi pangan manusia dengan mengoptimalkan ragam potensi genetik yang dimiliki dari beraneka spesies yang ada. Namun demikian, rendahnya pengetahuan mengenai manfaat biodiversitas dan hanya mementingkan keuntungan ekonomi sesaat telah memungkinkan terjadinya penurunan hingga punahnya beberapa spesies yang belum teridentifikasi secara genetik. Hal ini disebabkan karena keinginan manusia untuk menanam atau memperluas spesies unggul yang sedang memiliki permintaan tinggi dipasaran pada waktu tertentu. Dengan kata lain, dampak negatif dari revolusi hijau telah mengakibatkan terjadinya perubahan tata guna lahan, perpindahan habitat dari spesies tertentu, hingga proses seleksi dan pemurnian ras tertentu. Selain itu, faktor lingkungan secara alami seperti bencana banjir, longsor, gunung meletus, dan tsunami juga memberikan pengaruh terhadap penurunan biodiversitas genetika.

Biodiversitas genetika di Indonesia yang tercatat sebagai salah satu pusat *Vavilov* atau pusat sebaran biodiversitas genetika tumbuhan diantaranya untuk tanaman pisang (*Musa sp.*), pala (*Myristica fragrans*), cengkeh (*Syzygium aromaticum*), rambutan (*Nephelium spp.*). Untuk durian (*Durio zibethinus*) yang kini dikenal dengan varietas yang banyak dengan karakteristik genetik yang berbeda sehingga dihasilkan berbagai perbedaan dalam rasa dan tekstur buahnya serta ketahanan terhadap penyakit. Untuk tanaman hias, anggrek merupakan spesies yang mengalami paling banyak variasi genetiknya. Jenis flora lainnya yang tumbuh di Indonesia yang terus dikembangkan genetiknya adalah padi (*Oryza sativa*). Jenis tanaman padi ini terus menerus dikembangkan pada berbagai pusat keragaman genetik. Hal ini bertujuan agar berbagai padi varietas lokal yang telah dikembangkan selama ribuan tahun menjadi varietas yang memiliki gen yang mampu tumbuh di berbagai kondisi lingkungan dan memiliki ketahanan terhadap penyakit dan hama tertentu.

Selain tanaman, keanekaragaman genetika juga dapat terlihat pada fauna. Sebagai contoh, populasi orangutan (*Pongo sp.*) di Sumatera dan Kalimantan menunjukkan variasi genetik yang signifikan. Kemampuan orangutan di kedua pulau tersebut memiliki kemampuan adaptasi yang berbeda terhadap lingkungan hutan hujan yang berbeda. Keanekaragaman genetik lainnya yang khas adalah burung cenderawasih (*Paradisea sp.*), dengan habitat hutan hujan di papua variasi genetik terlihat pada warna bulu dan perilaku kawin. Pada fauna perairan juga terdapat biodiversitas genetik yang berkontribusi pada kemampuan mereka bermigrasi dan beradaptasi dengan berbagai kondisi perairan contohnya pada Ikan Sidat (*Anguilla spp.*).

Biodiversitas genetika merupakan hal yang penting dalam menjaga keberlanjutan spesies, diantaranya meningkatkan kemampuan adaptasi dengan perubahan lingkungan dan menghadapi berbagai ancaman seperti penyakit dan perubahan iklim. Biodiversitas genetika merupakan aset yang sangat berharga, karena manfaatnya tidak hanya untuk kelangsungan hidup ekosistem tetapi juga untuk ketahanan pangan dan kesejahteraan manusia. Oleh karena itu perlu dibuatkan kawasan lindung seperti taman nasional, bank gen dan kebun raya untuk melestarikan habitat alami dan populasi spesies sehingga akan tersimpan untuk dilakukannya penelitian lebih lanjut mengenai variasi genetik tumbuhan dan hewan. Hal penting lainnya untuk menjaga keanekaragaman genetik adalah dengan dilakukannya penelitian dan mengedukasi masyarakat tentang pentingnya konservasi genetika.

4.3 Biodiversitas Spesies

4.3.1 Biodiversitas Flora

Indonesia merupakan negara yang memiliki biodiversitas flora yang tinggi. Hal ini disebabkan karena letak geografis sebagai negara kepulauan tropis dengan aneka jenis ekosistem mulai dari hutan hujan tropis, mangrove, savana, hingga pegunungan. Flora yang ada di Indonesia merupakan flora dari Malesiana yang mencakup beragam jenis flora mulai dari tumbuhan tinggi hingga tumbuhan rendah. Data menunjukkan bahwa Indonesia

memiliki sekitar 25% dari spesies tumbuhan berbunga yang ada di dunia yang menempati urutan negara terbesar ketujuh dengan jumlah spesies mencapai 20.000 spesies, 40%-nya merupakan tumbuhan endemik atau asli Indonesia (Kusmana and Hikmat, 2015). Jika dideskripsikan persebaran flora berdasarkan kondisi geografis, maka flora di Indonesia akan dibagi berdasarkan 3 wilayah yaitu :

1. Flora Asiatik atau flora dataran sunda yang meliputi Jawa, Sumatera, Kalimantan, dan Bali. Wilayah ini umumnya merupakan wilayah hutan hujan tropis sehingga didominasi oleh famili *Dipterocarpaceae* yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Adapun pemanfaatan flora dari famili *Dipterocarpaceae* adalah untuk produk non kayu seperti minyak damar, resin dan kamper. Sebaran jenis *Dipterocarpaceae* terdiri dari 13 jenis dan 470 spesies, diantaranya *Shorea*, *Dipterocarpus*, *Dryobalanops*, *Hopes*, *Vatica*, *Cotylelobium*, *Parashorea*, *Anisoptera* dan *Upuna* (Fajri, 2008).
2. Flora Australis atau flora dataran sahur yang meliputi Papua dan pulau kecil disekitarnya. Jenis flora yang mendominasi adalah *Araucariaceae* dan *Myrtaceae*.
3. Flora peralihan Asia dan Australia atau flora daerah Wallace yang meliputi Sulawesi, Maluku, dan Nusa Tenggara. Jenis flora yang mendominasi di wilayah ini berasal dari family *Araucariaceae*, *Myrtaceae* dan *Verbenaceae*.

Hasil penelitian lainnya menyatakan bahwa famili tumbuhan dengan anggota spesies terbanyak adalah *Orchidaceae* yang mencapai 4.000 species sedangkan tumbuhan berkayu adalah *Dipterocarpaceae* yang mencapai 386 spesies, *Mysrtaceae* dan *Moraceae* yang mencapai 500 spesies, *Ericaceae* sebanyak 737 spesies, *Rhododendron* 287 spesies dan *Naccinium* 239 spesies (Whitmore, Tantra and Sutisna U., 1990). Sedangkan untuk tumbuhan rendah seperti paku-pakuan juga tercatat memiliki keanekaragaman spesies yang mencapai 4.000 spesies. Selain itu untuk jenis rotan teridentifikasi sekitar 332 spesies dengan genus *Calamus* 204 spesies, *Daemonorps* 86

spesies, *Korthalsia* 25 spesies, *Ceratolobus* 7 spesies, *Plectocomia* 4 spesies dan *Myrialepsis* 2 spesies (Kementerian lingkungan hidup dan kehutanan Indonesia, 2014).

Tingginya tingkat biodiversitas flora di Indonesia juga seiring dengan tingginya tantangan untuk melestarikannya. Ada beberapa macam tantangan yang timbul dalam melestarikan biodiversitas flora, diantaranya adalah alih fungsi lahan, deforestasi dan perubahan iklim. Manfaat dari biodiversitas flora di Indonesia bukan hanya secara berupa manfaat ekologi saja, akan tetapi juga memberikan manfaat ekonomi dan budaya. Biodiversitas flora memberikan banyak manfaat bagi manusia, diantaranya adalah tanaman obat tradisional, sumber pangan, bahan baku industri dan sebagainya. Oleh karena itu, penting bagi kita semua untuk terus mendukung upaya pelestarian alam demi keberlanjutan dan kesejahteraan masa depan.

Hingga tahun 2015 tercatat sekitar 240 spesies tanaman dinyatakan langka, diantaranya banyak yang merupakan spesies tanaman budidaya. Selain itu, sekitar 36 spesies pohon di Indonesia dinyatakan terancam punah, termasuk kayu ulin di Kalimantan Selatan, sawo kecil di Jawa Timur, Bali Barat, dan Sumbawa, kayu hitam di Sulawesi, dan kayu pandak di Jawa serta ada sekitar 58 spesies tumbuhan yang berstatus dilindungi (Kusmana and Hikmat, 2015).

4.3.2 Biodiversitas Fauna

Letak geografis Indonesia yang strategis diantara Benua Asia dan Benua Australia serta ribuan pulau disekitarnya telah menciptakan ekosistem yang unik dan beragam sehingga menghasilkan biodiversitas fauna yang tinggi. Biodiversitas fauna di Indonesia menempati peringkat kedua di dunia setelah Brazil. Indonesia memiliki 12% mamalia yang ada didunia atau peringkat kelima. Persentase biodiversitas fauna yang ada di Indonesia terhadap keberadaaan vertebrata didunia yaitu 16% untuk reptil dan 17% untuk aves. Selain fauna daratan, Indonesia juga terkenal dengan fauna pesisir yang tidak kalah tinggi juga nilai biodiversitas faunanya, antara lain 18% terumbu karang dunia yang terdiri dari 70 genus dan 500

spesies. Selain itu teridentifikasi juga 2.500 spesies ikan, 2.500 spesies mollusca, dan 1.500 spesies crustacea (Setiawan A., 2022). Data lain menyatakan bahwa sekitar 2.057 spesies fauna hidup dalam terumbu karang di Indonesia yang terdiri dari 1.400 spesies *Crustaceae*, 1.600 spesies *Molusca* yang terdiri dari *gastopoda* dan *Bivalvia*. Selain itu, kelompok *Echinodermata* tercatat memiliki 91 spesies *crinoids*, 87 spesies *asteroids* dan 142 spesies *holothurians*. Demikian pula kelompok *demospongia* yang teridentifikasi mencapai 830 spesies dan 20 spesies untuk mamalia perairan (LIPI, 2014).

Beberapa spesies endemik yang unik menjadi bagian penting dalam biodiversitas fauna, diantaranya adalah tikus ompong (*Placidomys vermidax*), tikus margareta Sulawesi (*Margaretamys cristinae*), tikus boki mekot berduri (*Halmaheramys bokimekot*), tikus air mamasa (*Waiomys mamasae*), tikus hidung babi (*Hyorhinomys stuempkei*), tikus kesturi (*Crocidura umbra*), tikus akar (*Gracilimus radix*), dan aneka tarsius yang masih banyak belum teridentifikasi (Kementerian lingkungan hidup dan kehutanan Indonesia, 2014). Adanya pembukaan lahan untuk kebun coklat (cacao) menyebabkan hewan mamalia kecil yang belum memiliki nama ilmiah ini terancam punah.

Dampak daripada perubahan tata guna lahan dan pemilihan spesies untuk kebutuhan ekonomi maupun hobi manusia telah mengancam fauna mamalia besar yang merupakan endemik Indonesia yang tidak dimiliki di wilayah dunia lainnya, diantaranya adalah Harimau Sumatera (*Panthera tigris sumatrae*), Gajah Sumatera (*Elephas maximus sumatranus*), Badak Jawa (*Rhinoceros sondaicus*), Owa Jawa (*Hylobates moloch*), Orangutan Kalimantan (*Pongo pygmaeus*), Bekantan (*Nasalis larvatus*), Anoa (*Bubalus depressicornis* dan *Bubalus quarlesi*), Tarsius (*Tarsius tarsier*), Babi Rusa (*Babirusa babirusa*), Banteng (*Bos javanicus*), badak Sumatera (*Dicerorhinus sumatrensis*), Owa Kalawat (*Hylobates muelleri*), Kuskus mata biru (*Phalanger matabiru*), Kuskus pulau obi (*Phalanger rothschildi*), dan Kanguru pohon mantel emas (*Dendrolagus pulcherrimus*) (LIPI, 2014). Demikian pula endemik jenis burung yang hanya ada di

Indonesia yaitu Cendrawasih Merah (*Paradisaea rubra*), Kasuari (*Casuarius*), Burung Nuri Maluku (*Eos bornea*), dan Burung Serindit Flores (*Loriculus flosculus*) yang cukup diminati para kolektor hewan baik untuk di pelihara maupun diawetkan sebagai pajangan.

Ancaman terhadap biodiversitas fauna dapat terjadi secara langsung sehingga menyebabkan penurunan hingga kepunahan fauna tersebut, diantaranya adalah pengambilan secara besar-besaran terhadap spesies tertentu untuk diperjualbelikan secara ilegal namun terbuka. Dalam hal ini pasarnya sudah jelas namun sindikat tersebut sulit untuk dideteksi oleh pemerintah ataupun lemahnya peran pemerintah dalam menanganinya. Hingga saat ini fauna langka dan dilindungi masih diperjualbelikan di pasar hewan tertentu. Kondisi tersebut terdeteksi oleh LSM profauna di tahun 2012, diantaranya perdagangan kukang (*Nyctcebus sp.*), monyet ekor Panjang (*Macaca fascicularis*), siamang (*Hylobates syndactylus*), ungko (*Hylobates agilis*), lutung (*Trachupithecus auratus*), kancil (*Tragulus sp.*), trenggiling (*Manis javanica*), dan musang luwak (*paradoxurus hermaphroditus*).

Upaya perlindungan terhadap biodiversitas fauna perlu dilakukan secara serius. Hal ini dapat dilakukan dengan memulai penegakan hukum terhadap seluruh aturan yang ada di Indonesia. Nampaknya pengaturan cagar alam, suaka marga satwa, taman nasional maupun taman hutan raya belum optimal dilakukan sehingga menyebabkan fauna endemik mengalami penurunan yang signifikan bahkan terancam punah sebelum teridentifikasi.

4.3.3 Biodiversitas Mikroorganisme

Biodiversitas mikroba di negara tropis dengan kelembaban yang tinggi dan suhu yang relatif stabil membuat jumlahnya sangat berlimpah. Namun demikian, identifikasi terhadap mikroorganisme masih belum maksimal. Beberapa mikroorganisme teridentifikasi karena telah memiliki manfaat bagi manusia. Mikroorganisme atau mikroba terdiri dari bakteri, fungi, virus, dan protozoa. Keberadaan mikroorganisme sangatlah luas mengingat luas dan beragamnya ekosistem yang ada di Indonesia. Tantangan dan eksplorasi

biodiversitas mikroorganisme cukup tinggi karena mikroorganisme yang teridentifikasi masih sedikit dan jenis mikroorganisme yang belum teridentifikasi cenderung mengalami kepunahan karena terjadinya perubahan lingkungan akibat aktivitas manusia.

Biodiversitas mikroorganisme memiliki peranan penting dalam ekosistem dan juga memiliki potensi besar untuk dijadikan bahan inovasi diberbagai bidang. Oleh karena itu upaya konservasi dan identifikasi perlu menjadi agenda penting bagi kebijakan penelitian di Indonesia. Manfaat dari mikroorganisma dengan berbagai senyawa kimia yang dikandungnya akan sangat banyak bagi bidang farmakologi. Dalam hal ini komponen aktif antibiotika yang hingga saat ini teridentifikasi jumlahnya mencapai 3.000 jenis termasuk *penicilin* dan *tetrasiklin* berasal dari mikro organisme. Demikian pula dengan obat-obatan yang ternyata bahan bakunya berasal dari fungi golongan *actinomycetes*, yang menghasilkan senyawa aktif bahan baku medis dan bahan baku industri. Pengembangan produk dari fungi golongan *actinomycetes* dapat dijadikan sebagai bahan baku anti-tumor, herbisida, nematoksida, insektisida, mitisida dan acarisida, anti protozoa, anti fungal, anti bakteri dan anti virals (Sukara, Imran and Tobing, 2008).

Demikian pula dengan penemuan *Acetobacter* yang dapat dipergunakan untuk pengembangan industri yang menggunakan teknologi nano. Jenis mikroorganisme lainnya yang sudah lebih dahulu digunakan secara tradisional hingga saat ini masih terjaga keberadaannya selama manusia membutuhkannya, diantaranya adalah *Saccharomyces cerevisiae* (ragi roti), *Bacillus thuringiensis* (pestisida), *Aspergillus niger* (ragi minuman), dan *Rhizopus oligosporus* (ragi makanan) (Yulneriwarni, 2008). Manfaat lain dari hadirnya biodiversitas mikroorganisme adalah enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme itu sendiri. Enzim tersebut biasanya digunakan diberbagai industri, diantaranya adalah *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Trichoderma viridae* dan *Penicillium funiculosum*. Mikroorganisme lainnya dari genus *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Aspergillus*, dan *Acetobacter* memiliki peran penting dalam

fermentasi makanan seperti yoghurt, soyghurt, nata de coco, kefir, keju, sosis, kecap hingga *wine*.

Selain untuk kepentingan industrn, mikroorganisme juga memiliki peran penting bagi lingkungan khususnya dalam dekomposisi bahanorganisk, siklus nutrisi, dan kesuburan tanah. Dalam hal ini bakteri yang berasosiasi dengan tanaman kacang-kacangan membentuk bakteri *rhizobium* akan berperan penting dalam melakukan fiksasi nitrogen yang penting untuk menjaga kesuburan tanah. Demikian pula Ketika fungi bersimbiosis dengan akar tanaman menjadi mikoriza akan membantu proses penyerapan air dan nutrisi sehingga meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit. Peran mikroorganisme diperairan juga tidak kalah pentingnya dengan didaratan. Dalam hal ini fitoplankton memiliki peran penting sebagai produsen utama dalam rantau makanan diperairan.

Namun demikian, tidak seluruh mikroorganisme memiliki manfaat bagi manusia. Ada beberapa macam mikroorganisme yang akan merugikan manusia baik dalam bentuk penyakit maupun dalam mengganggu pertanian, peternakan dan lingkungan umum. Oleh karena itu, penelitian terkait mikrooganisme baik yang menguntungkan maupun upaya menangkal mikroorganisme menjadi sebuah tantangan di masa depan.

4.4 Biodiversitas Ekosistem

Letak geografis Indonesia dan juga kepulauan yang tergabung membuat biodiversitas ekosistem pun beragam baik di daratan maupun di perairan. Pada bab ini akan dibahas beberapa ekosistem utama yang ada di Indonesia.

Ekosistem hutan hujan tropis merupakan ekosistem khas tropis yang ditandai dengan curah hujan yang tinggi, kelembaban yang tinggi dan memiliki tutupan kanopi pohon yang rapat. Biodiversitas pada ekosistem ini sangat tinggi. Di Indonesia ekosistem hutan hujan tropis ini berada pada hutan-hutan di pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Papua.

Selain ekosistem hutan hujan tropis, Indonesia juga memiliki ekosistem pegunungan yang merupakan ekosistem yang terdapat di ketinggian yang lebih tinggi dengan suhu yang

lebih rendah. Ekosistem pegunungan ini menyimpan biodiversitas flora maupun fauna yang unik dan endemik. Wilayah Indonesia yang memiliki ekosistem pegunungan adalah pegunungan Jayawijaya di Papua dan Pegunungan Bukit Barisan di Sumatera. Sebaran ekosistem hutan hujan tropis di Indonesia diantaranya terdapat pada pulau Sumatera, Kalimantan, Papua, dan Sulawesi. Ekosistem tersebut merupakan rumah bagi berbagai jenis flora yang unik dan bernilai ekonomis. Jenis flora yang tumbuh pada ekosistem ini sangatlah beragam mulai dari pohon besar seperti meranti (*Shorea sp.*), kapur (*Dryobalanops sp.*), ulin (*Eusideroxylon sp.*), dan kayu besi (*Intsia sp.*) hingga tumbuhan bawah seperti paku-pakuan, anggrek, dan aneka jenis tumbuhan merambat.

Ekosistem unik lainnya adalah ekosistem karst. Ekosistem karst ini adalah ekosistem yang terbentuk dari batuan kapur yang terkikis oleh air sehingga menciptakan lubang, gua dan sungai bawah tanah. Kawasan ini menjadi habitat bagi beberapa spesies endemik yang unik. Walaupun ekosistem karst ini langka, namun di Pulau Jawa cukup banyak ditemui dan cenderung digunakan untuk pertambangan batu kapur.

Ekosistem sabana adalah ekosistem yang didominasi oleh rumput dengan sejumlah pohon atau semak yang tersebar secara sporadis. Secara karakter flora yang ditemui di daerah ini selain rumput, semak juga pohon akasia. Sedangkan fauna yang ada di dalam ekosistem ini cukup beragam mulai dari herbivora besar hingga predator. Adapun sebaran sabana di Indonesia ada di Taman Nasional Baluran Jawa Timur dan Pulau Sumba.

Selain sabana, ada ekosistem yang hanya ditumbuhi oleh rerumputan yaitu ekosistem savana. Ekosistem ini tidak memiliki pohon maupun semak. Jenis ekosistem ini biasanya ditemukan di daerah dengan curah hujan sedang. Jenis tanah pada ekosistem ini biasanya subur karena adanya akumulasi bahan organik dari rumput yang mati. Wilayah Indonesia yang memiliki ekosistem savana adalah Pulau Sumba dan Pulau Timor.

Ekosistem lainnya yang mengandung biodiversitas flora yang tinggi adalah ekosistem alpina. Ekosistem ini berada di daerah pegunungan yang tinggi dengan jenis flora yang unik, salah satunya

adalah edelweis Jawa (*Anaphalis javanica*) yang tumbuh di ketinggian dengan kondisi lingkungan yang ekstrim.

Ekosistem danau adalah ekosistem yang berada di badan air tawar yang besar dan terisolasi. Pada umumnya ekosistem perairan ini dikelilingi oleh daratan dan tidak memiliki arus signifikan. Karakteristik ekosistem ini yang khas adalah airnya cenderung stagnan. Flora yang umum tumbuh pada ekosistem ini adalah teratai, eceng gondok dan berbagai alga. Sedangkan fauna yang hidup pada ekosistem ini adalah ikan air tawar, amfibi, burung air dan berbagai invertebrata lainnya. Ekosistem danau ini dapat ditemui di wilayah Sumatera, Papua, dan Jawa.

Berbeda dengan ekosistem danau yang cenderung stagnan, ekosistem sungai berada dalam badan air tawar yang mengalir dengan arus yang bervariasi tergantung kemiringan dan debit air. Flora yang tumbuh umumnya berupa alang-alang, rumput-rumputan, dan tumbuhan riparian. Sedangkan fauna yang dapat ditemui diantaranya adalah ikan air tawar, serangga air, amfibi, burung dan mamalia kecil. Ekosistem ini banyak ditemui diseluruh pulau besar di Indonesia diantaranya Sumatera, Kalimantan, Jawa, Sumatera dan Papua.

Ekosistem hutan rawa air tawar adalah hutan yang mendiami kawasan dengan tanah mineral aluvial yang tergenang secara musiman. Hutan rawa air tawar biasanya terdapat di antara dua sungai atau peralihan antara hutan rawa gambut dan hutan dataran rendah.

Ekosistem rawa gambut merupakan ekosistem lahan basah yang terbentuk dari akumulasi bahan organik yang tidak mengalami dekomposisi yang sempurna. Dalam ekosistem rawa gambut ini menyimpan banyak unsur karbon dan juga menjadi habitat bagi berbagai spesies. Jenis ekosistem ini dapat ditemui di wilayah Kalimantan dan Sumatera.

Sebagai negara kepulauan tentunya Indonesia memiliki pesisir pantai yang luas. Wilayah pesisir tersebut biasanya membentuk ekosistem mangrove. Ekosistem mangrove memiliki fungsi penting sebagai pelindung alami dari erosi dan tempat berkembang biak bagi banyak biota laut. Jenis-jenis mangrove yang umum dijumpai meliputi *Rhizophora*, *Avicennia*, dan *Sonneratia*.

Adapun kondisi ekosistem ini dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Ekosistem ini memiliki peran penting dalam melindungi garis pantai dan menyediakan habitat bagi berbagai spesies di wilayah pesisir. Ekosistem ini tersebar di Indonesia diseluruh pesisir Sumatera, Kalimantan, Jawa dan Papua.

Ekosistem padang lamun merupakan ekosistem perairan laut dangkal yang terdiri dari tanaman lamun yang hidup didasar laut. Ekosistem ini memiliki peranan penting untuk menjaga stabilitas pantai dan juga menjadi habitat bagi berbagai spesies laut. Ekosistem ini dapat ditemui pada perairan laut dangkal seperti di Kepulauan Seribu, Bali dan Sulawesi.

Ekosistem terumbu karang merupakan ekosistem laut yang tersusun atas koloni karang hingga membentuk struktur keras. Ekosistem ini sangat mendukung kehidupan biodiversitas di lautan. Jenis ekosistem ini dapat ditemui diseluruh wilayah Indonesia terutama di Laut Banda, Laut Sulawesi dan Raja Ampat Papua.

DAFTAR PUSTAKA

- Fajri, M. (2008) '*Pengenalan Umum Dipterocarpaceae, Kelompok Jenis Bernilai Ekonomi*', *Info Teknis Dipterokarpa Vol.2 No.1, Juli 2008* : 9 – 21, 2(1), pp. 9–21.
- Kementerian lingkungan hidup dan kehutanan Indonesia (2014) *The Fifth National Report of Indonesia to The Convention on Biological Diversity*. Jakarta.
- Kusmana, C. and Hikmat, A. (2015) 'The Biodiversity of Flora in Indonesia', *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 5(2), pp. 187–198.
- LIPI (2014) *Kekinian Keanekaragaman Hayati Indonesia*. Jakarta.
- Lubis, E. (2021) *Konsep Hukum Biodiversitas Dalam Era Digital (Fondasi Teoritik Pengembangan Hukum Lingkungan Indonesia Berbasis Biodiversitas)*, *Jurnal Jurisdictie*, 3(2).
- Setiawan A. (2022) 'Keanekaragaman hayati indonesia masalah dan konservasi', *Indonesian Journal of Conservation* 11(1) (2022) 13-21, 11(1), pp. 13–21.
- Sujiprihati S. and Syukur M. (2012) 'Konservasi Sumber Daya Genetik', in Poerwanto R., Siregar Z. I., and Suryani A. (eds). Bogor: IPB Press.
- Sukara, E., Imran, D. and Tobing, S.L. (2008) *Industri Berbasis Keanekaragaman Hayati, Masa Depan Indonesia, vis vitalis*, 01(2), pp. 43–57.
- Whitmore, T.C., Tantra, I.G.M. and Sutisna U. (1990) *Tree Flora of Indonesia*. Bogor: Forest Research and Development Centre.

BAB 5

ANCAMAN BIODIVERSITAS INDONESIA

Oleh Visi Tinta Manik

5.1 Pendahuluan

Indonesia dikenal sebagai negara kedua dengan megabiodiversitas terbesar di dunia setelah Brasil. Posisi geografisnya yang berada di garis tropis serta lokasinya di pertemuan lempeng-lempeng geologi membuat Indonesia memiliki keragaman kehidupan yang sangat kaya serta menghasilkan berbagai mineral. Dengan iklim tropis dan kompleksitas geologinya, Indonesia menjadi salah satu negara dengan keragaman hayati paling tinggi di dunia, baik di darat maupun di laut, dengan tingkat endemisme yang juga sangat tinggi.

Namun, di tengah kekayaan biodiversitas tersebut, Indonesia juga menghadapi tantangan serius. Kepadatan penduduk yang tinggi dan laju industrialisasi yang cepat menjadi ancaman nyata bagi lingkungan alaminya. Kegiatan manusia yang tidak terkendali, seperti deforestasi, alih fungsi lahan, dan polusi, telah mempercepat degradasi lingkungan dan merusak habitat-habitat penting bagi flora dan fauna. Selain itu, perubahan iklim global semakin memperburuk kondisi ini, mempengaruhi siklus hidup berbagai spesies serta mengganggu keseimbangan ekosistem.

5.2 Perubahan Penggunaan Lahan

Salah satu ancaman terbesar terhadap keanekaragaman hayati Indonesia adalah perubahan penggunaan lahan. Pembukaan lahan untuk pertanian, perkebunan, dan pembangunan infrastruktur telah menyebabkan hilangnya habitat alami yang kritis bagi flora dan fauna.

5.2.1 Deforestasi

Kekhawatiran terhadap perubahan penggunaan lahan di Indonesia baru muncul belakangan ini. Sebelum program transmigrasi menarik perhatian dunia pada tahun 1980-an, hanya sedikit orang yang peduli dengan seberapa cepat hutan di Indonesia hilang. Pada tahun 1993, Indonesia masih mengklaim bahwa 53 persen dari wilayah daratannya adalah hutan, sementara di Thailand dan Filipina hanya sekitar 25 persen (Pagiola, 2016). Namun, kekhawatiran mulai muncul ketika laju kehilangan hutan terlihat semakin cepat. Meski deforestasi memang meningkat dalam beberapa tahun terakhir, sebenarnya proses pengalihan fungsi hutan di Indonesia sudah berlangsung lama.

Secara tradisional, pemukiman manusia di Indonesia seringkali berada di daerah yang tanahnya subur dan mudah untuk bercocok tanam. Kesuburan alami tanah vulkanik di Jawa dan Bali menarik banyak penduduk, sementara di "Pulau-Pulau Luar" yang tanahnya kurang subur, penduduk cenderung lebih sedikit dan terkonsentrasi di daerah-daerah dengan tanah yang subur, seperti lembah patahan di pegunungan Barisan Sumatra, semenanjung selatan dan Minahasa di Sulawesi, serta Kepulauan Maluku. Daerah-daerah ini sudah kehilangan sebagian besar hutannya pada akhir abad ke-19.

Pada masa kolonial, perkebunan mulai berkembang pesat. Karet menjadi salah satu sumber pendapatan utama, yang mendorong penebangan hutan terutama di dataran Sumatra dan sebagian Kalimantan. Awalnya, perkebunan ini hanya berkembang di daerah yang lebih subur dan mudah dijangkau, namun dengan adanya peningkatan akses transportasi, ekspansi perkebunan meluas ke wilayah-wilayah lain.

Dalam beberapa dekade terakhir, tekanan terhadap hutan meningkat tajam, yang mengakibatkan semakin meluasnya konversi hutan. Proses yang sebelumnya terbatas pada daerah-daerah yang mendukung secara agroekologis, kini telah menjadi lebih umum. Berikut beberapa faktor utama yang berkontribusi terhadap konversi hutan menurut (Pagiola, 2016) :

1. **Penebangan hutan.** Penebangan hutan secara sistematis di Pulau-Pulau Luar mulai terjadi pada tahun 1970-an.

Kegiatan penebangan ini juga membuka akses ke daerah-daerah terpencil, di mana jalan-jalan yang dibangun untuk keperluan penebangan menggantikan sungai sebagai jalur utama menuju pedalaman. Hal ini mempermudah terjadinya pemukiman spontan di sekitar kawasan hutan

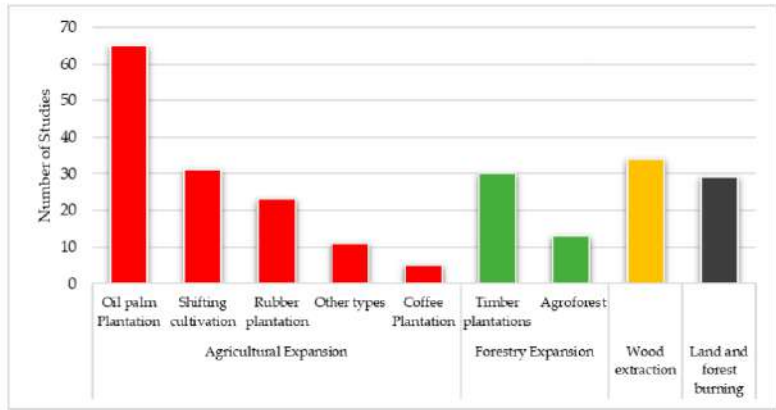
2. **Transmigrasi.** Program transmigrasi menjadi penggerak utama pemukiman baru di Pulau-Pulau Luar, yang mencapai puncaknya pada pertengahan 1980-an. Selain dampak langsungnya terhadap hutan, program ini juga menimbulkan dampak sekunder yang signifikan melalui pembersihan lahan mekanis. Konversi hutan lebih lanjut terjadi akibat kegagalan mencapai tingkat produksi yang memadai di sebagian besar lokasi transmigrasi, atau justru karena keberhasilan lokasi tertentu yang menarik gelombang migran spontan.
3. **Pemukiman spontan.** Meski program transmigrasi menjadi topik utama perdebatan, pemukiman 'spontan' di kawasan hutan oleh penduduk lokal maupun migran dari pulau-pulau yang lebih padat juga berlangsung dalam skala besar. Banyak yang melihat perambahan hutan oleh petani-petani pionir ini, yang secara perlahan membuka lahan dari batas hutan, sebagai tekanan yang lebih besar dibandingkan program transmigrasi resmi
4. **Perkebunan.** Pada pertengahan 1980-an, pemerintah mulai mendorong kebijakan diversifikasi produk di luar sektor minyak dan gas, dengan fokus besar pada pengembangan perkebunan tanaman keras. Di sektor kehutanan, kebijakan hutan tanaman industri (HTI) awalnya dimaksudkan untuk dikembangkan di lahan-lahan terdegradasi guna mengurangi permintaan terhadap kayu alam. Namun, ada berbagai masalah dalam pendirian HTI di lahan tersebut, termasuk risiko kebakaran, sehingga sebagian besar perkebunan kayu justru dikembangkan di kawasan konsesi hutan yang sudah ditebang.
5. **Perkebunan kelapa sawit.** Perkembangan paling signifikan terjadi pada perkebunan kelapa sawit. Pada tahun 1984, luas lahan perkebunan kelapa sawit sekitar 500.000

hektar. Luasan ini meningkat lebih dari dua kali lipat menjadi lebih dari 1 juta hektar pada tahun 1990, sekitar 2,4 juta hektar pada 1997, dan hampir mencapai 3 juta hektar saat ini.

Studi terbaru yang dilakukan oleh Juniwati dkk (Juniwati *et al.*, 2021) menjelaskan bahwa penyebab deforestasi di wilayah Sumatra dan Kalimantan dapat disebabkan oleh penyebab langsung (*direct cause*) dan penyebab mendasar (*underlying cause*). Diagram penyebab langsung perubahan penggunaan lahan di Kalimantan dan Sumatra dapat dilihat pada Gambar 1 yang menunjukkan aktivitas-aktivitas utama yang menyebabkan perubahan besar pada lahan, yaitu :

1. Ekspansi Lahan Pertanian

Ekspansi lahan pertanian, khususnya perkebunan kelapa sawit, merupakan penyebab langsung paling signifikan dalam perubahan penggunaan lahan di Sumatra dan Kalimantan. Dari diagram ini, terlihat bahwa **perkebunan kelapa sawit** mendominasi sebagai penyebab utama perubahan lahan. Provinsi Riau memiliki proporsi terbesar dalam ekspansi kelapa sawit, dengan 86,7% dari total lahan yang mengalami perubahan disebabkan oleh penanaman kelapa sawit. Ekspansi kelapa sawit terjadi secara masif karena tingginya permintaan global terhadap minyak sawit, yang dipandang sebagai komoditas strategis. Selain kelapa sawit, beberapa jenis perkebunan lain seperti karet, kopi, dan agroforestri juga berkontribusi pada perubahan lahan, meskipun dengan proporsi yang lebih kecil. **Kebun karet** paling signifikan di Jambi, dengan 43,9% dari total perubahan lahan di wilayah tersebut, sedangkan **perkebunan kopi** paling banyak di Lampung dengan proporsi 26,7%.



Gambar 5.1. Diagram penyebab langsung perubahan penggunaan lahan di Kalimantan dan Sumatra (Juniyanti *et al.*, 2021)

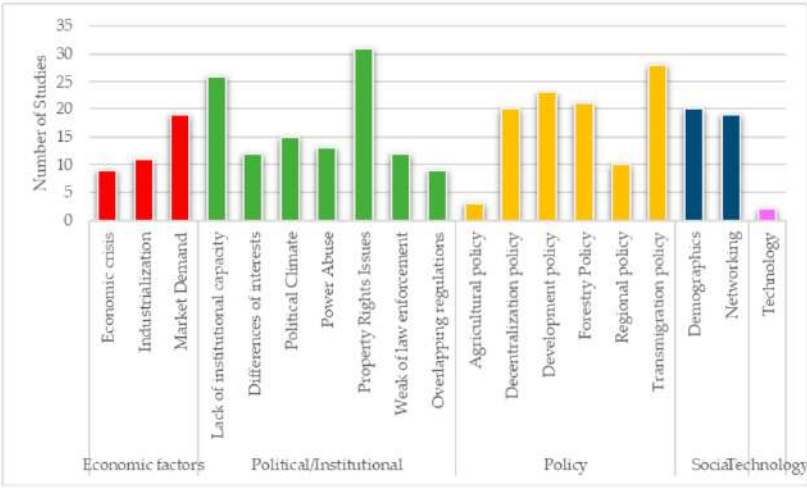
2. Ekstraksi Kayu dan Perkebunan Hutan

Selain ekspansi pertanian, penebangan kayu dan perkebunan hutan (hutan tanaman industri/HTI) juga menjadi penyebab langsung utama perubahan lahan. Penebangan kayu paling banyak terjadi di Kalimantan Selatan, dengan 80% dari total operasi penebangan yang terjadi di wilayah tersebut.

3. Pembakaran Hutan

Selain ekspansi pertanian dan penebangan kayu, pembakaran hutan merupakan salah satu metode paling umum yang digunakan oleh petani untuk membuka lahan di Sumatra dan Kalimantan. Pembakaran lahan ini terjadi paling sering di Riau, dengan 47% dari total kasus pembakaran yang dilaporkan. Metode ini sering digunakan karena dianggap sebagai cara yang cepat dan murah untuk menyiapkan lahan sebelum ditanami. Namun, pembakaran hutan ini menyebabkan kerusakan lingkungan yang sangat besar dan berkontribusi pada masalah kabut asap yang sering melanda wilayah Indonesia dan negara-negara tetangganya

Berdasarkan **Gambar 5.2**, penyebab mendasar (*underlying causes*) dari perubahan penggunaan lahan di Sumatra dan Kalimantan dikategorikan ke dalam beberapa faktor kunci, yaitu faktor institusional, kebijakan, ekonomi, sosial, dan teknologi. **Faktor institusional dan kebijakan** merupakan penyebab paling dominan dari perubahan penggunaan lahan di kedua wilayah tersebut. Hal tersebut menunjukkan bahwa masalah institusi yang lemah dan kebijakan yang tidak tepat sasaran menjadi pendorong utama terjadinya perubahan penggunaan lahan di Sumatra dan Kalimantan. Meskipun faktor ekonomi dan sosial turut berperan, kekurangan dalam pengelolaan kelembagaan dan kebijakan yang mendorong perluasan lahan transmigrasi menjadi penyebab yang paling signifikan dalam konversi hutan. Kombinasi dari faktor-faktor ini menunjukkan bahwa untuk menekan laju deforestasi, diperlukan upaya perbaikan kelembagaan dan kebijakan yang lebih efektif serta penegakan hukum yang kuat.



Gambar 5.2. Diadram penyebab mendasar perubahan penggunaan lahan di Sumatra dan Kalimantan (Sumber : Juniyanti *et al.*, 2021).

5.2.2 Dampak Deforestasi Terhadap Biodiversitas

Deforestasi di Indonesia memiliki dampak yang sangat signifikan terhadap keanekaragaman hayati dan ekosistem. Berikut adalah dampak-dampak utama yang terjadi akibat deforestasi (Jainuddin, 2023):

1. Kehilangan Habitat dan Kepunahan Spesies

Deforestasi menyebabkan hilangnya habitat alami yang menjadi tempat tinggal bagi banyak spesies flora dan fauna. Spesies endemik, seperti orangutan Sumatra dan harimau Sumatra, sangat rentan terhadap kepunahan karena habitat mereka terus berkurang. Tanpa habitat yang memadai, spesies-spesies ini kehilangan tempat untuk berlindung, mencari makan, dan berkembang biak, yang pada akhirnya dapat menyebabkan penurunan populasi yang drastis

2. Fragmentasi Habitat

Selain kehilangan habitat secara langsung, deforestasi juga menyebabkan fragmentasi habitat, yaitu pemecahan ekosistem menjadi bagian-bagian kecil yang terisolasi. Hal ini menghalangi pergerakan dan migrasi spesies antar wilayah, yang pada gilirannya mengganggu interaksi ekologis penting, seperti penyerbukan dan pemangsaan alami. Fragmentasi ini juga memicu penurunan keragaman genetik di antara populasi spesies

3. Gangguan Siklus Nutrisi

Deforestasi merusak siklus nutrisi dalam ekosistem hutan, yang secara alami mengatur sirkulasi unsur hara antara tanah, tumbuhan, dan organisme lainnya. Ketika pohon-pohon ditebang, kemampuan tanah untuk menyerap dan mengelola unsur hara menjadi terganggu, yang berdampak negatif pada produktivitas tanah dan organisme yang hidup di dalamnya

4. Perubahan Iklim

Hutan tropis Indonesia berperan penting dalam penyerapan karbon dioksida, sehingga deforestasi berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon ke atmosfer. Ketika hutan-hutan ini hilang, pelepasan karbon ke udara memperburuk pemanasan global dan perubahan iklim.

Hutan yang hilang tidak lagi berfungsi sebagai penyeimbang karbon, dan pembakaran hutan untuk membuka lahan memperburuk efek gas rumah kaca

5. Gangguan Siklus Air

Hutan memegang peranan penting dalam menjaga keseimbangan siklus air melalui proses transpirasi dan penguapan. Ketika deforestasi terjadi, kemampuan hutan untuk mengatur curah hujan dan menyimpan air menurun, yang menyebabkan peningkatan risiko banjir dan kekeringan. Hilangnya hutan juga mengurangi kapasitas tanah untuk menahan air, yang membuat wilayah tersebut rentan terhadap erosi dan banjir

6. Erosi Tanah dan Banjir Lumpur

Ketika hutan ditebang, akar-akar pohon yang menjaga kestabilan tanah ikut hilang, menyebabkan tanah menjadi longgar dan lebih mudah tererosi. Air hujan yang tidak terserap oleh tanah menyebabkan aliran lumpur yang bisa merusak ekosistem sekitarnya serta infrastruktur manusia

7. Perubahan Lanskap

Deforestasi secara drastis mengubah lanskap alami, mengakibatkan terjadinya iklim mikro yang berbeda. Daerah yang sebelumnya teduh oleh kanopi hutan kini menjadi terbuka dan terkena sinar matahari langsung, meningkatkan suhu dan mengganggu keseimbangan ekosistem setempat.

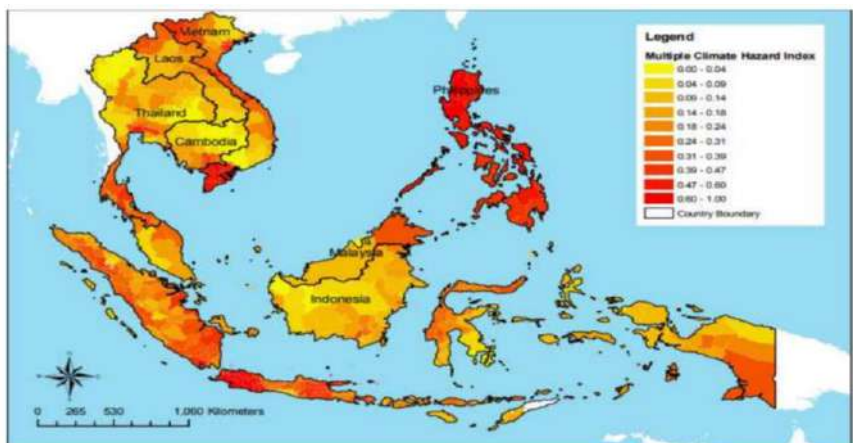
5.3 Perubahan Iklim

IPCC menjelaskan bahwa perubahan jumlah gas rumah kaca dan aerosol di atmosfer telah memengaruhi keseimbangan energi sistem iklim. Akibatnya, suhu permukaan, kelembapan udara, dan suhu lautan global meningkat. Selain itu, gletser di pegunungan dan *snow cover* berkurang, serta kekeringan semakin parah (IPCC, 2007). Gas rumah kaca yang terdiri dari aerosol (H_2O), karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dinitrogen oksida (N_2O), dan ozon (O_3) merupakan gas yang dihasilkan oleh aktivitas manusia dan dianggap yang paling penting. Gas-gas ini berasal dari berbagai

sektor seperti energi, industri, pertanian, limbah, penggunaan lahan, perubahan penggunaan lahan, dan kehutanan (LULUCF).

Secara umum, sektor kehutanan Indonesia, termasuk LULUCF dan kebakaran gambut, adalah penghasil gas rumah kaca terbesar, menyumbang lebih dari setengah (55%) dari total emisi gas rumah kaca di negara ini. Emisi tinggi yang dihasilkan dari perubahan penggunaan lahan dan deforestasi menjadikan Indonesia sebagai salah satu dari tiga negara penghasil gas rumah kaca terbesar di dunia (WHO, 2007). Sektor lain yang juga berkontribusi terhadap emisi adalah energi (32%), proses industri dan penggunaan produk (2%), pertanian (6%), dan limbah (5%). Total emisi gas rumah kaca Indonesia mencapai 1.808.305 Gg CO₂e (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia, 2017).

Dengan panjang garis pantai mencapai 80.000 km dan 17.508 pulau, serta memiliki tingkat keanekaragaman hayati yang sangat tinggi dan kepadatan penduduk yang tinggi, Indonesia merupakan salah satu negara yang paling rentan terhadap dampak perubahan iklim (Case, Ardiansyah and Spector, 2007). Gambar 4 menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Indonesia menghadapi risiko tinggi dari berbagai bahaya iklim, seperti kekeringan, banjir, tanah longsor, dan kenaikan permukaan laut. Pulau Jawa, Sumatera, Sulawesi Utara, dan Papua adalah daerah yang paling terpengaruh.



Gambar 5.3. Tingkat bahaya iklim ganda
(Sumber :Yusuf and Francisco, 2009)

5.3.1 Dampak Perubahan Iklim Terhadap biodiversitas

Keanekaragaman hayati di Asia, termasuk di wilayah timur Indonesia, mengalami dampak negatif yang lebih besar dibandingkan dengan terumbu karang yang berada di daerah dengan populasi manusia yang lebih rendah. Pemutihan karang secara massal dan meningkatnya suhu permukaan laut bisa menyebabkan hilangnya terumbu karang dalam jumlah besar, yang juga mengancam keanekaragaman hayati seperti ikan, yang menjadi sumber pangan dan penghidupan bagi banyak masyarakat Indonesia. Selain itu, kenaikan permukaan laut, peningkatan cuaca ekstrem, kenaikan suhu, serta perubahan sirkulasi dan salinitas laut juga bisa berdampak pada populasi penyu laut di Indonesia (WWF, 2007a).

Indonesia juga memiliki banyak spesies yang terancam punah, seperti monyet Bekantan (*Nasalis larvatus*), badak Jawa (*Rhinoceros sondaicus*), badak Sumatera (*Dicerorhinus sumatrensis*), komodo (*Varanus komodoensis*), dan orangutan Sumatera serta Kalimantan (*Pongo abelii* dan *P. pygmaeus*). Karena itu, keanekaragaman hayati Indonesia sangat terancam oleh dampak perubahan iklim. Sebagai contoh, Kalimantan menjadi rumah bagi banyak spesies satwa liar penting, termasuk orangutan (Case, Ardiansyah and Spector, 2007)

Selama 20 tahun terakhir, kenaikan suhu, perubahan curah hujan, dan perubahan penggunaan lahan telah meningkatkan frekuensi dan luas kebakaran hutan di Asia Tenggara (IPCC, 2007). Di Indonesia, peristiwa El Niño tahun 1997-98 menyebabkan kebakaran di 9,7 juta hektar hutan, yang berdampak serius pada ekonomi serta menimbulkan polusi domestik dan lintas negara. Diperkirakan biaya ekonomi dari kekeringan dan kebakaran tersebut mencapai sekitar 9 miliar dolar AS. Selama El Niño yang sama, lebih dari 2 juta hektar hutan rawa gambut terbakar di Indonesia. Dalam 10 tahun terakhir, sekitar 3 juta hektar hutan rawa gambut di Asia Tenggara terbakar, dan pengeringan hutan rawa gambut telah memengaruhi 6 juta hektar lainnya (IPCC, 2007). Hutan rawa gambut dapat menyimpan karbon 30 kali lebih banyak dibandingkan hutan hujan tropis, tetapi kebakaran dan perubahan

penggunaan lahan dapat melepaskan karbon tersebut ke atmosfer, yang memperburuk pemanasan global.

Menurut IPCC, hingga 50% dari keanekaragaman hayati Asia terancam oleh perubahan iklim (IPCC, 2007). Perubahan iklim ini juga menambah ancaman terhadap terumbu karang, terutama di habitat yang sudah terancam. Terumbu karang di wilayah dengan populasi manusia yang padat lebih rentan terhadap kerusakan akibat kebakaran. Peningkatan frekuensi dan intensitas kebakaran dapat berdampak positif dan negatif pada habitat satwa liar serta keanekaragaman hayati, dengan mengubah struktur dan komposisi hutan. Perubahan ini memungkinkan beberapa spesies berkembang, namun mengurangi habitat dan daya saing spesies lainnya.

Hutan bakau di pesisir Indonesia juga terancam oleh kenaikan permukaan laut, berkurangnya aliran air tawar, dan masuknya air asin, selain tekanan yang sudah ada akibat aktivitas manusia seperti pembukaan lahan bakau untuk pertanian. Studi terbaru menunjukkan sebagian besar hutan bakau di Asia Selatan dan Tenggara telah hilang dalam 50 tahun terakhir akibat aktivitas manusia (Zafar, 2005), dan proyeksi kenaikan permukaan laut menunjukkan bahwa masa depan hutan bakau di wilayah ini semakin tidak pasti (Tran et al., 2005).

Dampak perubahan iklim lainnya terhadap keanekaragaman hayati Indonesia termasuk perubahan pola curah hujan dan musim, yang dapat memengaruhi ketersediaan air, menyebabkan kekeringan berkepanjangan atau banjir yang lebih intens. Hal ini dapat memengaruhi amfibi, reptil, burung, serta hewan besar seperti badak Jawa dan Sumatera, gajah Asia, dan berbagai spesies mamalia kecil lainnya. Selain itu, perubahan distribusi spesies, waktu reproduksi, dan pola tumbuh tanaman juga akan berdampak pada keanekaragaman hayati di Indonesia.

5.4 Aktifitas Manusia

Keanekaragaman hayati Indonesia juga menghadapi ancaman dari berbagai aktivitas manusia seperti :

5.4.1 Penambangan dan Pengerukan Karang serta pembangunan resort

Penambangan karang, pengerukan, dan pembangunan resor merupakan aktivitas yang merusak terumbu karang karena melibatkan pengambilan karang hidup, baik secara manual maupun dengan bahan peledak. Meskipun penambangan karang telah dilarang di beberapa negara, termasuk Indonesia, praktik ini masih terjadi karena kurangnya penegakan hukum. Karang yang diambil biasanya digunakan untuk berbagai keperluan seperti bahan bangunan, produksi kapur, perhiasan, hingga obat-obatan. Sayangnya, aktivitas ini tidak hanya merusak terumbu karang, tetapi juga memperburuk erosi pesisir dan menyebabkan sedimentasi, yang sangat mengganggu ekosistem laut.

Kerusakan akibat penambangan karang sulit untuk dipulihkan, bahkan setelah bertahun-tahun. Terumbu yang ditambang bisa kehilangan hampir seluruh tutupan karangnya, yang berdampak pada komunitas ikan dan hewan laut lainnya. Selain itu, terumbu karang berperan penting dalam melindungi pesisir dari bencana alam seperti tsunami. Di Sri Lanka, misalnya, wilayah yang terumbu karangnya rusak akibat penambangan lebih terdampak parah saat tsunami 2004 dibandingkan daerah yang terumbu karangnya masih utuh. Selain itu, pembangunan resor sering kali memperburuk kondisi dengan pengerukan terumbu untuk jalur kapal dan limbah yang mencemari laut, yang pada akhirnya merusak ekosistem dan merugikan industri pariwisata itu sendiri. Sebagai contoh, erosi akibat penambangan kini menimbulkan biaya tahunan lebih dari 100.000 dolar AS pada beberapa hotel di Bali (Cleary and DeVantier, 2011).

5.4.2 Limbah industri, pertanian, dan tumpahan minyak

Limbah industri, pertanian, dan tumpahan minyak telah menyebabkan kerusakan besar pada ekosistem laut, terutama karang. Limbah industri yang mengandung logam berat dan zat beracun dapat memperlambat pertumbuhan alga yang hidup bersama karang, menyebabkan stres fisik, menurunkan kesuburan, serta memicu kematian karang dan organisme laut lainnya. Misalnya, karang seperti *Goniastrea aspera* dan *Acropora tenuis*

sangat terpengaruh oleh tembaga yang menghambat kesuburannya pada kadar tertentu. Tumpahan minyak juga dapat mengakibatkan cedera fisik pada karang, menghambat pertumbuhannya, dan menurunkan kemampuan regenerasi.

Limbah pertanian, seperti herbisida dan pestisida, sangat merusak mangrove, padang lamun, dan hubungan simbiotik antara karang dan alga. Pesticida mengganggu sinyal kimia yang penting untuk proses reproduksi dan perkembangan organisme laut. Selain itu, herbisida dapat merusak hubungan antara karang dan alga yang sangat penting bagi kelangsungan hidup karang. Di Teluk Jakarta, limpahan nutrisi dari aktivitas pertanian menyebabkan ledakan pertumbuhan fitoplankton yang sebagian besar terdiri dari *Chaetoceros*, *Skeletonema*, *Noctiluca scintillans*, dan *Coscinodiscus*, yang mengurangi kejernihan air dan mengubah komposisi spesies, membahayakan ekosistem karang.

Meskipun kadar logam berat dan bahan kimia beracun di Teluk Jakarta menurun sejak tahun 1980-an, masuknya nutrisi berlebih tetap menjadi masalah serius bagi terumbu karang. Polusi minyak juga berdampak buruk di Pulau Seribu, terutama di terumbu yang jauh dari pantai, yang kondisinya tetap rusak selama bertahun-tahun setelah tumpahan minyak. Fenomena serupa juga terjadi di Panama, di mana tumpahan minyak mengakibatkan karang terluka parah, pertumbuhan yang lambat, dan tingkat regenerasi yang rendah (Cleary and DeVantier, 2011).

5.4.3 Penangkapan ikan

Penangkapan ikan dengan bahan peledak adalah salah satu bentuk penangkapan ikan yang paling merusak dan merupakan ancaman langsung terhadap kesehatan terumbu karang. Meskipun secara resmi dilarang, praktik ini tersebar luas di seluruh Indonesia. Penggunaan bahan peledak yang berulang menyebabkan puing-puing karang tidak stabil, sehingga menghambat pertumbuhan karang baru. Selain membunuh ikan, penangkapan ikan dengan bahan peledak juga merusak ketahanan terumbu karang terhadap perubahan iklim dan gangguan lingkungan lainnya

Penangkapan ikan dengan sianida juga menyebabkan kematian spesies lain yang tidak menjadi target, termasuk ikan kecil,

dan telah dikaitkan dengan kematian terumbu karang secara luas. Sianida dapat membunuh karang pada konsentrasi tinggi dan menyebabkan hilangnya *zooxanthellae* pada konsentrasi rendah hingga sedang. Selain digunakan untuk menangkap ikan konsumsi, sianida juga digunakan untuk menangkap ikan hias dan invertebrata untuk perdagangan akuarium. Praktik ini sangat merusak karena menggunakan sianida dalam jumlah besar dan menargetkan banyak spesies ikan. Penangkapan ikan berulang di area yang sama menyebabkan kematian besar-besaran pada ikan larva, fauna kecil yang tersembunyi, serta terumbu karang itu sendiri (Cleary and DeVantier, 2011).

Masalah penangkapan ikan lainnya adalah praktek *overfishing*. Marine Stewardship Council menjelaskan bahwa *overfishing* terjadi ketika terlalu banyak ikan dalam satu populasi tertentu ditangkap dan tidak ada cukup ikan dewasa untuk berkembang biak dan mempertahankan populasi yang sehat. Tingkat *overfishing* telah meningkat dalam beberapa dekade terakhir, dan jumlah populasi ikan yang terlampaui tangkapannya kini tiga kali lipat lebih tinggi dibandingkan tahun 1970. Organisasi Pangan dan Pertanian Perserikatan Bangsa-Bangsa (FAO) memantau lebih dari 500 stok ikan di seluruh dunia. Pada tahun 2024, diperkirakan lebih dari 37% stok ikan ini mengalami *overfishing*.

Jika stok ikan runtuh, dampaknya dapat segera dirasakan, tetapi pemulihan bisa memakan waktu puluhan tahun. Keruntuhan perikanan cod Grand Banks di Kanada pada tahun 1992 meninggalkan lebih dari 35.000 nelayan dan pekerja pabrik dari lebih dari 400 komunitas pesisir tanpa pekerjaan.

Makanan laut juga merupakan sumber penting protein dan mikronutrien. Lebih dari 3 miliar orang bergantung pada laut untuk protein, dengan ikan mewakili setidaknya 20% dari asupan protein hewani harian mereka. *Overfishing* dapat memengaruhi keanekaragaman hayati, habitat, dan ekosistem yang memberikan kontribusi vital bagi iklim, udara bersih, air, dan pangan.

Dampak terhadap keanekaragaman hayati tidak hanya terjadi melalui *overfishing* terhadap stok ikan yang ditangkap untuk makanan, tetapi juga melalui *overfishing* terhadap spesies yang ditangkap secara tidak sengaja. Ini dapat mencakup spesies yang

terancam punah, seperti beberapa hiu, ikan pari, dan penyu. Menghilangkan hiu, misalnya, dapat memiliki efek domino pada mangsa mereka dan spesies yang berada lebih rendah dalam rantai makanan, serta berdampak negatif pada keanekaragaman hayati (Marine Stewardship Council, 2024).

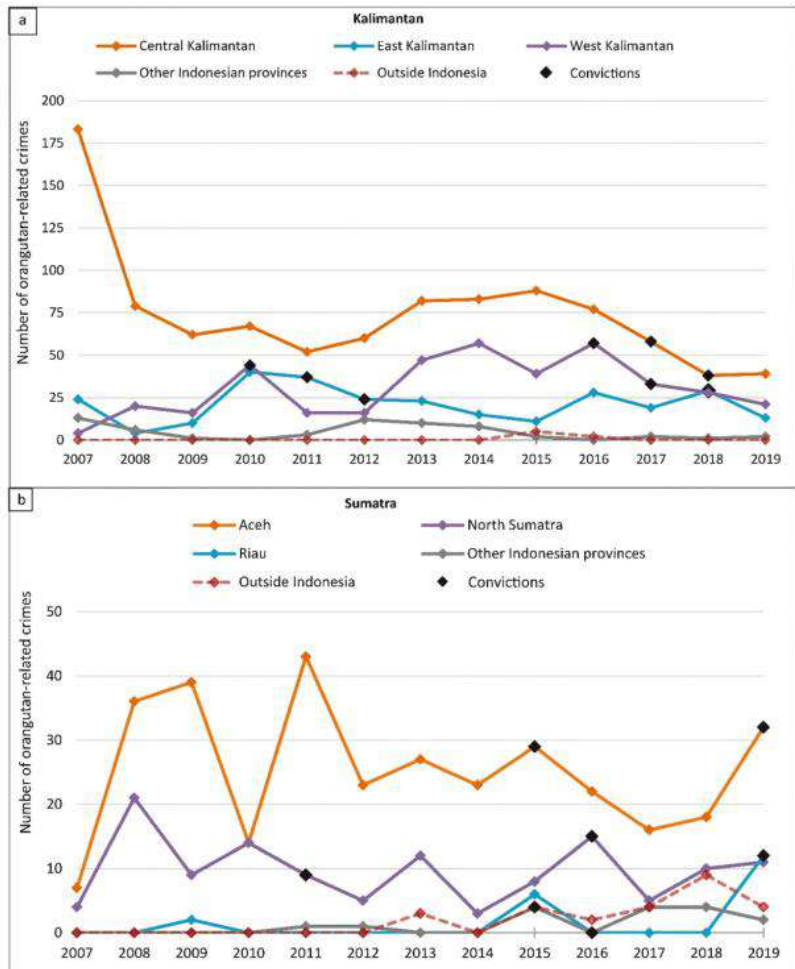
5.4.4 Perburuan dan Perdagangan Satwa Liar Secara Ilegal

Perdagangan satwa liar ilegal secara khusus mengancam banyak spesies dan mengganggu layanan ekosistem yang penting. Berbagai satwa liar sering dijadikan komoditas perdagangan meliputi berbagai spesies burung endemik, harimau, badak bercula, orang utan, dll. Sherman dkk dalam penelitiannya menganalisis tren kejahatan yang terkait dengan orangutan di Indonesia, satu-satunya negara di mana orangutan Tapanuli dan orangutan Sumatra yang sangat terancam punah dapat ditemukan, serta menjadi rumah bagi sekitar dua pertiga dari orangutan Kalimantan yang sangat terancam punah. Penangkapan, pembunuhan, penyiksaan (cedera atau pelecehan), dan perdagangan (kepemilikan, penjualan, pembelian, pertukaran, atau barter) orangutan telah dilarang di Indonesia sejak tahun 1932. Kejahatan ini dikenakan hukuman maksimal lima tahun penjara dan denda sebesar IDR 100 juta, namun hukuman yang dijatuhkan umumnya cukup ringan. Pembunuhan dan perdagangan ilegal secara konsisten diidentifikasi sebagai ancaman signifikan bagi orangutan selama lebih dari 50 tahun. Di Indonesia, orangutan dibunuh secara oportunistik untuk dijadikan daging buruan, sebagai langkah preventif untuk mencegah pencarian makanan di ladang atau interaksi dengan manusia, sebagai pembalasan atas pencarian makanan di ladang atau interaksi dengan manusia, dan untuk mendapatkan bayi orangutan sebagai hewan peliharaan. Untuk mendapatkan bayi orangutan yang tergantung pada induknya hampir selalu diperlukan pembunuhan induk. Orangutan telah menjadi hewan peliharaan yang populer di Indonesia selama beberapa dekade, dan situasi ini masih berlangsung hingga saat ini. Distribusi orangutan di Indonesia mencakup banyak budaya dan agama, serta ketidaksetaraan pendapatan dan kesejahteraan yang signifikan, semuanya berperan dalam perbedaan persepsi dan perilaku terhadap orangutan di

tingkat lokal. Pembunuhan orangutan dan perdagangan hewan peliharaan lokal juga terkait dengan penebangan hutan dan dampak habitat lainnya yang disebabkan oleh manusia, dan semua ini merupakan masalah utama bagi kelangsungan spesies tersebut (Sherman *et al.*, 2022).

Gambar 5 menunjukkan data kejahatan terhadap Orang utan di Kalimantan dan Sumatra dari tahun 2007-2019. Gambar 5a menunjukkan total tahunan dari kejahatan yang dilaporkan yang mempengaruhi orangutan Kalimantan yang terdeteksi di dalam distribusi spesies di provinsi Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, dan Kalimantan Barat; di provinsi Indonesia lainnya di luar distribusi spesies; dan lokasi internasional di luar Indonesia. Orangutan hadir dalam jumlah rendah di provinsi Kalimantan Utara, tetapi tidak ada kejahatan yang dilaporkan di sana selama periode studi.

Gambar 5b menunjukkan total tahunan dari kejahatan yang dilaporkan yang mempengaruhi orangutan Tapanuli dan Sumatra yang terdeteksi di dalam distribusi spesies di provinsi Sumatra, yaitu Aceh dan Sumatra Utara, serta di Riau di mana populasi telah diperkenalkan kembali; di provinsi Indonesia lainnya di luar distribusi spesies; dan lokasi internasional di luar Indonesia. Populasi yang diperkenalkan kembali juga meluas ke provinsi Jambi, tetapi tidak ada kejahatan yang dilaporkan di sana selama periode studi. Berlian hitam menunjukkan tahun dan provinsi dengan kasus di pengadilan yang berakhir dengan hukuman



Gambar 5.4. Jumlah kejahatan orangutan yang dilaporkan dan hukuman di Kalimantan dan Sumatra, Indonesia dari tahun 2007 hingga 2019.
(Sumber : Sherman *et al.*, 2022)

DAFTAR PUSTAKA

- Case, M., Ardiansyah, F. and Spector, E. (2007) 'Climate Change in Indonesia Implications for Humans and Nature', *Energy*, pp. 1–13.
- Cleary, D.F.R. and DeVantier, L. (2011) 'Indonesia: Threats to the Country's Biodiversity', *Encyclopedia of Environmental Health, Volume 1-5*, 3(November), pp. V3-187-V3-197. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00504-3>.
- IPCC (2007) *Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC* M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds. Cambridge. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-008044910-4.00250-9>.
- Jainuddin, N. (2023) 'Dampak Deforestasi Terhadap Keanekaragaman Hayati Dan Ekosistem', *Jurnal Humaniora, Sosial Dan Bisnis*, 1(2), pp. 131–140.
- Juniyanti, L. et al. (2021) 'Understanding the driving forces and actors of land change due to forestry and agricultural practices in sumatra and kalimantan: A systematic review', *Land*, 10(5). Available at: <https://doi.org/10.3390/land10050463>.
- Marine Stewardship Council (2024) *Overfishing*. Available at: <https://www.msc.org/what-we-are-doing/oceans-at-risk/overfishing#:~:text=Overfishing can affect biodiversity%2C habitats,overfishing of species caught unintentionally>.
- Pagiola, S. (2016) 'Land Use Change in Indonesia Land Use Change in Indonesia', (January 2000).
- Sherman, J. et al. (2022) 'Orangutan killing and trade in Indonesia: Wildlife crime, enforcement, and deterrence patterns', *Biological Conservation*, 276(November 2021), p. 109744. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109744>.
- WHO (2007) *Emergency and Humanitarian Action News Update, February and March 2007. Regional Office for South-East Asia*.

Available at:
http://www.searo.who.int/LinkFiles/Newsletter_EHA_February_and_March_2007.pdf.

Yusuf, A.A. and Francisco, H. (2009) *Climate Change Vulnerability Mapping for Southeast Asia Vulnerability Mapping for Southeast Asia (Singapore: Economy and Environment Program for Southeast Asia-EEPSEA)*. Economy and Environment Program for Southeast Asia (EEPSEA).

BAB 6

PERUBAHAN IKLIM DAN BIODIVERSITAS

Oleh Daawia

6.1 Pendahuluan

Iklim adalah kondisi rata-rata cuaca yang berlangsung dalam jangka waktu yang panjang di suatu wilayah atau area geografis tertentu (Muchammad Zaenal Muttaqin, 2020). Ini mencakup berbagai elemen cuaca seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, angin, curah hujan, dan pola cuaca lainnya yang dapat diamati dalam kurun waktu yang lebih lama, biasanya dalam rentang waktu puluhan tahun atau lebih. Iklim dapat berubah dari satu wilayah ke wilayah lainnya berdasarkan faktor-faktor seperti letak geografis, topografi, dan interaksi antara atmosfer, lautan, dan daratan (Waluya, 2006).

Perubahan iklim merujuk pada perubahan dalam pola iklim bumi secara keseluruhan atau di wilayah-wilayah tertentu dalam jangka waktu yang cukup lama, biasanya berlangsung puluhan tahun atau lebih. Perubahan iklim dapat meliputi perubahan suhu rata-rata global, pola curah hujan, intensitas badai, tingkat kenaikan permukaan laut, dan berbagai fenomena lainnya yang terkait dengan cuaca dan iklim.

Perubahan iklim disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk aktivitas manusia dan alami. Aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan produksi gas rumah kaca, telah menyebabkan peningkatan kadar gas-gas rumah kaca di atmosfer, yang menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim yang cepat (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2016; IPCC-IPBES, 2020). Selain itu, perubahan alami dalam siklus alam, seperti perubahan orbit bumi dan aktivitas matahari, juga dapat mempengaruhi iklim bumi dalam jangka waktu yang lebih panjang.

Perubahan iklim memiliki dampak yang luas dan serius, termasuk ancaman terhadap lingkungan alam, kehidupan hewan dan tumbuhan, serta kesejahteraan manusia ('Dampak Perubahan Iklim Terhadap Biodiversitas', no date; Lubis, 2011; Darmawan, 2024). Oleh karena itu, memahami perubahan iklim dan mengambil langkah-langkah untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan menyesuaikan diri dengan dampak perubahan iklim telah menjadi prioritas global.

Biodiversitas adalah keanekaragaman hayati atau keragaman kehidupan di berbagai tingkat organisasi, mulai dari tingkat gen, spesies, hingga ekosistem (Tumbrinck and Skejo, 2017). Ini mencakup berbagai bentuk kehidupan, termasuk tumbuhan, hewan, jamur, bakteri, dan organisme lainnya, serta interaksi mereka dengan lingkungan fisiknya.

Keanekaragaman hayati sangat penting untuk menjaga stabilitas ekosistem dan fungsi ekologisnya (Surakusumah, Com and Biologi, 1994). Ini memainkan peran kunci dalam menyediakan berbagai layanan ekosistem yang penting bagi kehidupan manusia, seperti penyediaan makanan, obat-obatan, air bersih, udara bersih, dan dukungan untuk pertanian, serta memberikan nilai estetika dan budaya.

Biodiversitas juga mencerminkan sejarah evolusi alam dan interaksi kompleks antara spesies-spesies yang ada. Namun, biodiversitas global saat ini menghadapi berbagai ancaman, termasuk hilangnya habitat alami, perubahan iklim, polusi, invasi spesies asing, dan aktivitas manusia lainnya. Pemahaman dan pelestarian biodiversitas menjadi penting untuk memastikan keberlanjutan ekosistem dan kesejahteraan manusia di masa depan.

6.2 Jenis-Jenis Iklim

Terdapat berbagai jenis iklim di seluruh dunia, yang terbentuk oleh faktor-faktor seperti letak geografis, topografi, dan sirkulasi udara. Beberapa jenis iklim yang umum dikenal termasuk:

1. Iklim Tropis:

Iklim tropis adalah salah satu dari beberapa jenis iklim utama di dunia. Ditemukan di daerah-daerah yang terletak dekat dengan

khatulistiwa, iklim tropis memiliki karakteristik-karakteristik khas sebagai berikut:

- a. **Hangat Sepanjang Tahun:** Salah satu ciri utama iklim tropis adalah suhu yang hangat sepanjang tahun (Dewi and Rosalina, 2022). Suhu rata-rata harian relatif tinggi dan seringkali tetap stabil sepanjang musim. Ini berbeda dengan iklim di wilayah-wilayah yang lebih jauh dari khatulistiwa yang mungkin mengalami perubahan suhu yang signifikan antara musim panas dan musim dingin.
- b. **Sedikit Perubahan Suhu Musiman:** Di iklim tropis, perubahan suhu antara musim panas dan musim dingin relatif kecil atau bahkan tidak terasa. Ini berarti bahwa suhu harian dan musiman cenderung tetap konsisten sepanjang tahun, dengan variasi yang minimal.
- c. **Curah Hujan Tinggi:** Salah satu ciri paling menonjol dari iklim tropis adalah curah hujan yang tinggi sepanjang tahun. Hujan seringkali terjadi secara reguler dan berlimpah, dengan sebagian besar wilayah tropis memiliki dua musim utama: musim hujan dan musim kemarau. Meskipun ada variasi lokal dalam pola curah hujan, umumnya iklim tropis cenderung memiliki hujan yang terjadi sepanjang tahun.
- d. **Kelembaban Tinggi:** Selain curah hujan yang tinggi, iklim tropis juga sering ditandai oleh kelembaban udara yang tinggi. Kondisi kelembaban yang tinggi ini menciptakan lingkungan yang cocok untuk pertumbuhan berbagai jenis tanaman dan kehidupan hutan yang kaya.

Iklim tropis memiliki dampak yang signifikan pada flora, fauna, dan manusia di wilayah-wilayah yang terpengaruh (Dewi and Rosalina, 2022). Hutan hujan tropis, salah satu ekosistem utama yang terdapat di iklim tropis, menyediakan habitat bagi berbagai spesies tumbuhan dan hewan yang unik serta memberikan berbagai layanan ekosistem yang penting bagi kehidupan manusia.

2. Iklim Gurun:

Iklim gurun adalah salah satu dari beberapa jenis iklim utama di dunia. Dikenal dengan kondisi yang kering dan minim hujan, iklim gurun memiliki karakteristik-karakteristik khas sebagai berikut:

- a. **Kering dengan Sedikit Hujan:** Ciri utama iklim gurun adalah minimnya curah hujan. Daerah yang terpengaruh oleh iklim gurun sering kali mengalami kekeringan yang signifikan karena curah hujan yang sangat rendah atau bahkan tidak ada sama sekali. Rata-rata, iklim gurun menerima kurang dari 250 milimeter hujan setiap tahun.
- b. **Suhu Ekstrem:** Iklim gurun ditandai oleh fluktuasi suhu yang ekstrem antara siang dan malam hari. Siang hari seringkali sangat panas dengan suhu yang dapat mencapai level yang ekstrem, sementara malam harinya sangat dingin. Perbedaan suhu yang besar ini disebabkan oleh minimnya tutupan awan yang dapat menahan panas di malam hari.
- c. **Terjadi di Daerah Jauh dari Garis Khatulistiwa:** Iklim gurun umumnya ditemukan di daerah-daerah yang terletak jauh dari garis khatulistiwa, baik di belahan bumi utara maupun selatan. Contoh iklim gurun terkenal termasuk Gurun Sahara di Afrika, Gurun Gobi di Asia, dan Gurun Sonoran di Amerika Utara.
- d. **Vegetasi yang Tahan Kekeringan:** Kondisi kering dan suhu ekstrem membuat vegetasi di iklim gurun cenderung terdiri dari tanaman yang dapat bertahan dalam kondisi kekeringan. Contohnya termasuk kaktus, semak, dan rumput gurun yang mampu menyimpan air atau bertahan dengan sedikit air.

Iklim gurun memiliki dampak yang signifikan pada ekosistem dan kehidupan manusia di wilayah-wilayah yang terpengaruh. Tanah yang kering dan minim hujan membuat pertanian sulit untuk berkembang, sementara suhu yang ekstrem menimbulkan tantangan bagi manusia dan hewan dalam hal kesehatan dan kelangsungan hidup.

3. Iklim Savana:

Iklim savana adalah salah satu jenis iklim yang memiliki karakteristik unik dan sering ditemukan di daerah-daerah tertentu di dunia. Beberapa ciri khas dari iklim savana adalah sebagai berikut:

- a. **Musim Hujan dan Musim Kemarau yang Jelas:** Salah satu ciri utama iklim savana adalah adanya pola musim hujan dan musim kemarau yang jelas. Ini berarti wilayah yang terpengaruh oleh iklim savana mengalami periode musim hujan yang basah dan musim kemarau yang kering secara bergantian.
- b. **Musim Hujan yang Pendek:** Musim hujan dalam iklim savana cenderung pendek, dibandingkan dengan iklim hutan hujan. Meskipun demikian, hujan yang jatuh selama musim hujan biasanya cukup untuk mendukung pertumbuhan rumput dan vegetasi yang khas dari ekosistem savana.
- c. **Hujan yang Cukup untuk Rumput, Tetapi Tidak untuk Hutan Hujan:** Meskipun curah hujan selama musim hujan mencukupi untuk mendukung pertumbuhan rumput, curah hujan tersebut seringkali tidak mencukupi untuk mendukung hutan hujan. Ini menghasilkan lanskap savana yang terdiri dari rumput-rumput yang tersebar di antara beberapa pohon dan semak, bukan hutan yang rapat.
- d. **Musim Kemarau yang Panjang dan Kering:** Musim kemarau dalam iklim savana seringkali panjang dan kering. Kurangnya hujan selama musim kemarau dapat menyebabkan kekeringan dan menyulitkan pertumbuhan tanaman. Tanaman yang ada harus dapat bertahan hidup dalam kondisi kekeringan yang berkepanjangan.
- e. **Ekosistem yang Khas:** Iklim savana mendukung ekosistem yang khas, yang terdiri dari padang rumput yang luas dengan sejumlah pohon dan semak yang tersebar. Ekosistem ini mendukung berbagai jenis satwa liar, termasuk herbivora besar seperti gajah, zebra, dan jerapah, serta karnivora seperti singa dan cheetah.

Iklim savana memiliki dampak yang signifikan pada flora, fauna, dan manusia di wilayah-wilayah yang terpengaruh. Pertanian dan peternakan seringkali merupakan kegiatan utama dalam ekonomi wilayah savana, dan pola musim hujan dan musim kemarau dapat mempengaruhi hasil panen dan ketersediaan sumber daya air.

4. **Iklim Semi-Arid:**

Iklim semi-arid adalah salah satu jenis iklim yang memiliki ciri-ciri antara iklim gurun dan iklim savana. Berikut adalah beberapa ciri khas dari iklim semi-arid:

- a. **Mirip dengan Iklim Gurun:** Iklim semi-arid memiliki kesamaan dengan iklim gurun dalam hal kekeringan dan minimnya curah hujan. Wilayah yang terpengaruh oleh iklim semi-arid sering kali mengalami musim kemarau yang panjang dan kering, dengan curah hujan yang rendah.
- b. **Sedikit Lebih Banyak Curah Hujan:** Salah satu perbedaan utama antara iklim semi-arid dan iklim gurun adalah bahwa iklim semi-arid memiliki sedikit lebih banyak curah hujan. Meskipun tetap kering, curah hujan yang sedikit lebih tinggi daripada iklim gurun dapat membuat beberapa jenis vegetasi lebih beragam dan lebih tahan terhadap kekeringan.
- c. **Musim Kemarau yang Panjang:** Musim kemarau dalam iklim semi-arid cenderung panjang dan kering, mirip dengan iklim gurun. Kurangnya hujan selama musim kemarau dapat menyebabkan kekeringan yang signifikan dan menyulitkan pertumbuhan tanaman.
- d. **Kondisi yang Lebih Kering daripada Iklim Savana:** Meskipun iklim semi-arid memiliki sedikit lebih banyak curah hujan daripada iklim gurun, kondisi keseluruhan tetap lebih kering daripada iklim savana. Ini karena musim kemarau yang panjang dan curah hujan yang rendah menyebabkan kondisi yang sulit bagi pertumbuhan tanaman dan kehidupan liar.
- e. **Vegetasi yang Teradaptasi:** Vegetasi yang tumbuh di iklim semi-arid umumnya memiliki adaptasi untuk

bertahan hidup dalam kondisi kekeringan yang ekstrem. Tanaman dan pohon yang tahan kekeringan, seperti kaktus dan semak, umumnya mendominasi lanskap.

Iklim semi-arid memiliki dampak yang signifikan pada ekosistem dan kehidupan manusia di wilayah-wilayah yang terpengaruh. Pertanian dan peternakan seringkali merupakan kegiatan utama dalam ekonomi wilayah semi-arid, dan pola musim hujan dan musim kemarau dapat mempengaruhi hasil panen dan ketersediaan sumber daya air. Selain itu, kekeringan yang sering terjadi dalam iklim semi-arid juga dapat menjadi tantangan bagi kehidupan manusia dan hewan.

5. Iklim Lautan:

Iklim lautan adalah salah satu jenis iklim yang terjadi di daerah-daerah yang berdekatan dengan lautan atau Samudra (Santosa, 2013).

Berikut adalah beberapa ciri khas dari iklim lautan:

- a. **Terjadi di Daerah-Daerah yang Berdekatan dengan Laut atau Samudra:** Iklim lautan terjadi di wilayah-wilayah yang berada di dekat garis pantai atau pesisir laut. Kehadiran lautan atau samudra berdampingan dengan daratan mempengaruhi iklim regional dengan cara tertentu.
- b. **Suhu Cenderung Stabil Sepanjang Tahun:** Salah satu ciri utama dari iklim lautan adalah suhu yang relatif stabil sepanjang tahun. Kehadiran massa air yang besar seperti laut atau samudra cenderung menstabilkan suhu udara di wilayah-wilayah yang terpengaruh.
- c. **Sedikit Perubahan Musiman:** Perubahan musiman dalam suhu tidak terlalu signifikan dalam iklim lautan. Suhu cenderung tetap relatif konstan sepanjang tahun, dengan sedikit fluktuasi musiman yang terjadi.
- d. **Curah Hujan yang Sering Terjadi dan Merata:** Curah hujan sering terjadi dalam iklim lautan, dan distribusinya relatif merata sepanjang tahun. Kehadiran lautan atau samudra dapat menyebabkan penguapan air yang cukup

besar, yang kemudian menghasilkan awan dan hujan yang sering terjadi.

- e. **Pengaruh Lautan terhadap Kelembaban:** Kehadiran lautan atau samudra juga mempengaruhi kelembaban udara di wilayah-wilayah yang terpengaruh. Udara yang melewati perairan cenderung menyerap kelembaban, sehingga iklim lautan cenderung memiliki kelembaban udara yang relatif tinggi.

Iklim lautan memiliki dampak yang signifikan pada ekosistem dan kehidupan manusia di wilayah-wilayah yang terpengaruh. Ketersediaan sumber daya air yang relatif tinggi dan curah hujan yang merata sepanjang tahun mendukung pertumbuhan tanaman dan kehidupan hewan. Di samping itu, iklim lautan juga memiliki pengaruh besar pada aktivitas manusia seperti pertanian, perikanan, dan pariwisata di wilayah pesisir.

6. Iklim Kontinental:

Iklim kontinental adalah salah satu jenis iklim yang ditemukan di wilayah-wilayah yang terletak jauh dari pantai atau pesisir laut. Berikut adalah beberapa ciri khas dari iklim kontinental:

- a. **Wilayah Terletak Jauh dari Pantai:** Iklim kontinental ditemukan di wilayah-wilayah yang terletak jauh dari garis pantai atau pesisir laut. Kehadiran daratan yang luas, tanpa pengaruh langsung dari massa air seperti laut atau samudra, mempengaruhi karakteristik iklim regional.
- b. **Musim Panas yang Hangat:** Musim panas dalam iklim kontinental cenderung hangat, bahkan bisa sangat panas terutama di wilayah-wilayah dengan paparan sinar matahari yang tinggi. Suhu udara selama musim panas dapat naik cukup tinggi.
- c. **Musim Dingin yang Dingin:** Salah satu ciri yang paling mencolok dari iklim kontinental adalah musim dingin yang dingin. Suhu udara selama musim dingin dapat turun drastis, seringkali mencapai suhu di bawah titik beku. Perbedaan suhu antara musim panas dan musim dingin bisa sangat signifikan.

- d. **Perubahan Suhu Musiman yang Signifikan:** Iklim kontinental seringkali ditandai oleh perubahan suhu musiman yang signifikan. Perbedaan suhu antara musim panas dan musim dingin bisa sangat besar, yang menciptakan kondisi iklim yang beragam dan dinamis sepanjang tahun.
- e. **Variasi Curah Hujan:** Curah hujan dalam iklim kontinental dapat bervariasi tergantung pada lokasi geografisnya. Beberapa wilayah mungkin mengalami curah hujan yang cukup merata sepanjang tahun, sementara yang lain mungkin mengalami pola curah hujan yang lebih berfluktuasi antara musim panas dan musim dingin.

Iklim kontinental memiliki dampak yang signifikan pada ekosistem dan kehidupan manusia di wilayah-wilayah yang terpengaruh. Perubahan suhu yang ekstrem antara musim panas dan musim dingin dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, aktifitas pertanian, dan kehidupan hewan. Selain itu, kondisi iklim yang berbeda-beda sepanjang tahun juga mempengaruhi kegiatan manusia seperti pariwisata, olahraga, dan gaya hidup sehari-hari.

7. **Iklim Sub-Polar:**

Iklim sub-polar adalah salah satu jenis iklim yang ditemukan di daerah-daerah yang dekat dengan Kutub Utara atau Kutub Selatan. Berikut adalah beberapa ciri khas dari iklim sub-polar:

- a. **Ditemukan di Dekat dengan Kutub:** Iklim sub-polar terjadi di daerah-daerah yang dekat dengan Kutub Utara atau Kutub Selatan, biasanya di wilayah-wilayah arktik atau antartika. Kehadiran kutub mempengaruhi karakteristik iklim regional dan menyebabkan kondisi yang khas.
- b. **Musim Panas Pendek yang Dingin:** Salah satu ciri utama dari iklim sub-polar adalah musim panas yang pendek dan dingin. Suhu udara selama musim panas bisa naik di atas titik beku, tetapi tidak mencapai suhu yang tinggi. Musim panas biasanya singkat dan tidak cukup panas untuk mencairkan lapisan es permanen.

- c. **Musim Dingin yang Panjang dan Sangat Dingin:** Musim dingin dalam iklim sub-polar cenderung panjang dan sangat dingin. Suhu udara selama musim dingin seringkali turun jauh di bawah titik beku, menciptakan kondisi yang ekstrem dan sangat dingin.
- d. **Perbedaan Suhu Antara Musim Panas dan Musim Dingin yang Besar:** Iklim sub-polar ditandai oleh perbedaan suhu yang besar antara musim panas dan musim dingin. Perubahan suhu yang ekstrem antara musim panas dan musim dingin menciptakan kondisi iklim yang berbeda secara signifikan.
- e. **Kondisi Ekstrem dan Tahan Terhadap Suhu Rendah:** Kondisi suhu yang ekstrem dalam iklim sub-polar menciptakan tantangan bagi kehidupan tumbuhan dan hewan. Namun, beberapa spesies telah berkembang dan beradaptasi dengan baik dengan kondisi lingkungan yang dingin ini.

Iklim sub-polar memiliki dampak yang signifikan pada ekosistem dan kehidupan manusia di wilayah-wilayah yang terpengaruh. Kondisi suhu yang ekstrem dan musim panjang yang dingin dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, keberlangsungan hidup hewan, dan aktivitas manusia seperti pertanian dan perikanan. Selain itu, kondisi iklim yang ekstrem juga dapat menjadi tantangan bagi kehidupan manusia sehari-hari, termasuk dalam hal kesehatan dan infrastruktur.

8. Iklim Polar:

Iklim polar adalah salah satu jenis iklim yang terjadi di wilayah-wilayah kutub bumi, yaitu Kutub Utara dan Kutub Selatan. Berikut adalah beberapa ciri khas dari iklim polar:

- a. **Terletak di Wilayah Kutub:** Iklim polar terjadi di wilayah-wilayah yang sangat dekat dengan Kutub Utara atau Kutub Selatan. Wilayah ini memiliki ciri khas berupa lingkungan yang ekstrem dan suhu yang sangat rendah sepanjang tahun.
- b. **Suhu Sangat Dingin Sepanjang Tahun:** Salah satu ciri utama dari iklim polar adalah suhu yang sangat dingin

sepanjang tahun. Suhu udara seringkali berada di bawah titik beku (0°C) baik di musim panas maupun musim dingin.

- c. **Perbedaan Suhu yang Kecil:** Karena letak geografisnya yang sangat dekat dengan Kutub, iklim polar cenderung memiliki perbedaan suhu yang kecil antara musim panas dan musim dingin. Musim panas mungkin sedikit lebih hangat, tetapi suhu tetap berada di kisaran yang sangat dingin.
- d. **Curah Hujan Rendah dan Salju yang Tinggi:** Curah hujan dalam iklim polar rendah karena udara yang dingin cenderung memiliki kapasitas yang rendah untuk menampung uap air. Namun, salju sering terjadi dan menjadi bentuk utama presipitasi di wilayah-wilayah ini.
- e. **Ekosistem yang Terbatas:** Kondisi suhu yang ekstrem dan terbatasnya sumber daya alami membuat ekosistem di iklim polar terbatas. Tumbuhan dan hewan yang dapat bertahan hidup di lingkungan yang dingin ini harus memiliki adaptasi yang khusus.
- f. **Pencairan Es Terbatas:** Di wilayah Kutub Utara, pencairan es terbatas dan sebagian besar permukaannya tertutup es sepanjang tahun. Namun, di Kutub Selatan, es daratan membentuk kontinen es yang sangat besar, yaitu lapisan es Antartika.

Iklim polar memiliki dampak yang signifikan pada ekosistem dan kehidupan manusia di wilayah-wilayah yang terpengaruh. Kondisi suhu yang ekstrem dan lingkungan yang keras membuat wilayah ini menjadi salah satu dari sedikit tempat di bumi yang jarang dihuni oleh manusia. Namun, iklim polar memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem global dan memiliki dampak yang besar pada perubahan iklim global.

Setiap jenis iklim memiliki karakteristik unik yang mempengaruhi flora, fauna, dan kehidupan manusia di wilayah tersebut.

6.3 Pengaruh perubahan iklim terhadap biodiversitas

Perubahan iklim memiliki dampak yang signifikan terhadap biodiversitas di seluruh dunia. Beberapa dampak utama termasuk:

1. Pengurangan Habitat:

Pengurangan habitat adalah salah satu dampak serius dari perubahan iklim terhadap kehidupan di planet ini (Ramos-Jiliberto, Moisset de Espanés and Vázquez, 2020). Berikut adalah beberapa penjelasan tentang pengurangan habitat:

- a. **Perubahan Suhu:** Perubahan iklim dapat menyebabkan peningkatan suhu yang signifikan di berbagai wilayah. Ini dapat mengakibatkan pencairan gletser dan es di kutub, gunung, dan kawasan es lainnya. Akibatnya, habitat bagi berbagai spesies yang tergantung pada lingkungan es, seperti beruang kutub, anjing laut, dan beberapa jenis burung, dapat mengecil atau bahkan menghilang.
- b. **Perubahan Pola Curah Hujan:** Perubahan iklim juga dapat mempengaruhi pola curah hujan di berbagai wilayah. Beberapa daerah mungkin mengalami peningkatan kekeringan karena kurangnya hujan, sementara yang lain mungkin mengalami banjir karena hujan yang lebih intens. Kedua perubahan ini dapat mengubah habitat daratan dan perairan, mengakibatkan penurunan populasi atau bahkan kepunahan bagi spesies-spesies yang tergantung pada habitat tersebut.
- c. **Kenaikan Permukaan Air Laut:** Perubahan iklim juga dapat menyebabkan kenaikan permukaan air laut karena pencairan es di kutub dan pegunungan. Akibatnya, habitat di pesisir seperti rawa-rawa, mangrove, dan pantai berpasir dapat terancam oleh intrusi air laut yang lebih tinggi. Ini dapat mengganggu ekosistem pesisir dan menyebabkan hilangnya habitat bagi spesies yang tinggal di sana, termasuk burung laut, kura-kura, dan mamalia laut.
- d. **Kerusakan pada Terumbu Karang:** Pemanasan global juga dapat menyebabkan pemutihan terumbu karang karena suhu air laut yang lebih tinggi. Terumbu karang yang sehat adalah habitat penting bagi banyak spesies laut,

termasuk ikan-ikan kecil, moluska, dan kerangka karang. Namun, pemutihan yang parah dapat mengakibatkan kerusakan yang permanen pada terumbu karang dan menyebabkan penurunan drastis pada keanekaragaman hayati laut di wilayah tersebut.

Pengurangan habitat adalah salah satu aspek yang paling merugikan dari perubahan iklim. Ini mengancam keberlangsungan hidup banyak spesies, mengganggu ekosistem alami, dan dapat memiliki dampak serius pada keseimbangan ekologi global (Hasdiana, 2018; Ummah, 2019a). Upaya perlindungan habitat dan mitigasi perubahan iklim menjadi semakin penting untuk mengurangi dampak negatifnya dan menjaga keanekaragaman hayati di planet ini.

2. Pergeseran Spesies:

Pergeseran spesies adalah fenomena di mana spesies-spesies bergerak atau bermigrasi dari habitat asal mereka ke wilayah-wilayah baru sebagai respons terhadap perubahan lingkungan, termasuk perubahan iklim. Spesies-spesies yang tidak dapat beradaptasi dengan cepat atau bermigrasi ke habitat yang lebih sesuai dapat menghadapi tekanan besar, bahkan risiko kepunahan ('Dampak Perubahan Iklim Terhadap Biodiversitas', no date; Ummah, 2019b).

a. Gangguan Keseimbangan Ekologi: Pergeseran spesies dapat mengganggu keseimbangan ekologi di wilayah-wilayah yang terkena dampak. Misalnya, kedatangan spesies invasif baru dapat mengganggu ekosistem lokal dan menyebabkan penurunan populasi spesies...anggan makanan dan polinasi. Akibatnya, terjadi perubahan dalam interaksi antarspesies dan dinamika ekologi, yang dapat memiliki dampak jangka panjang pada struktur dan fungsi ekosistem.

b. Perubahan dalam Distribusi Geografis: Pergeseran spesies dapat mengakibatkan perubahan dalam distribusi geografis spesies-spesies di seluruh planet. Wilayah-wilayah baru yang dulunya tidak sesuai untuk spesies tertentu menjadi habitat baru mereka, sementara habitat

asal mereka mungkin tidak lagi mendukung kehidupan yang berkelanjutan. Hal ini dapat menghasilkan perubahan besar dalam komunitas biologis di berbagai ekosistem.

Pergeseran spesies adalah fenomena alami yang telah terjadi selama sejarah bumi, tetapi perubahan iklim yang cepat dan drastis dapat mempercepat dan memperbesar dampaknya. Upaya untuk memahami dan mengurangi dampak perubahan iklim pada pergeseran spesies menjadi semakin penting untuk menjaga keanekaragaman hayati dan keseimbangan ekologi di planet ini.

3. Gangguan pada Siklus Hidup:

Perubahan iklim dapat menyebabkan gangguan pada siklus hidup berbagai spesies, memengaruhi waktu, frekuensi, dan pola perilaku alami mereka. Berikut adalah beberapa penjelasan tentang gangguan tersebut:

- a. Perubahan Musim dan Pola Hujan:** Perubahan iklim dapat mengubah pola musim dan pola hujan di berbagai wilayah. Gangguan ini dapat mempengaruhi waktu berbunga dan produksi biji tumbuhan, yang pada gilirannya memengaruhi kelangsungan hidup dan reproduksi berbagai spesies, termasuk hewan yang bergantung pada tumbuhan sebagai sumber makanan.
- b. Migrasi Burung dan Hewan:** Perubahan iklim dapat mempengaruhi pola migrasi burung dan hewan. Burung migran, misalnya, seringkali mengikuti pola musim dan perubahan suhu untuk menentukan waktu dan rute migrasi mereka. Gangguan dalam pola musim dapat menyebabkan ketidaksesuaian antara waktu migrasi dan ketersediaan sumber daya, mengakibatkan penurunan populasi dan bahkan kepunahan pada beberapa spesies.
- c. Aktivitas Reproduksi:** Perubahan iklim juga dapat mempengaruhi waktu dan pola aktivitas reproduksi hewan. Misalnya, suhu yang lebih hangat atau perubahan pola hujan dapat memicu awalnya periode reproduksi, yang kemudian dapat menyebabkan ketidakcocokan dengan ketersediaan makanan atau kondisi lingkungan

lainnya yang diperlukan untuk kelangsungan hidup keturunan.

- d. **Penurunan Populasi dan Kehilangan Spesies:** Gangguan pada siklus hidup dapat menyebabkan penurunan populasi dan bahkan kehilangan spesies secara keseluruhan. Ketidakmampuan spesies untuk beradaptasi dengan perubahan lingkungan yang cepat dan drastis dapat mengakibatkan penurunan kelangsungan hidup dan reproduksi, yang pada akhirnya dapat mengancam keberadaan mereka.

Gangguan pada siklus hidup merupakan salah satu dampak serius dari perubahan iklim terhadap kehidupan di planet ini. Untuk mengatasi dampak tersebut, penting untuk memahami bagaimana perubahan iklim memengaruhi siklus hidup spesies-spesies yang berbeda dan mengambil langkah-langkah untuk melindungi dan mempertahankan keanekaragaman hayati di seluruh dunia.

4. **Risiko Ekstinksi:**

Perubahan iklim merupakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan risiko kepunahan bagi banyak spesies di seluruh dunia. Berikut adalah beberapa penjelasan tentang risiko ekstinksi yang diakibatkan oleh perubahan iklim:

- a. **Ketidakmampuan Beradaptasi:** Perubahan iklim dapat menyebabkan perubahan lingkungan yang cepat dan drastis, yang membuat beberapa spesies tidak mampu beradaptasi dengan cepat. Spesies-spesies yang tidak dapat bergerak atau beradaptasi dengan perubahan kondisi lingkungan, seperti perubahan suhu, pola curah hujan, atau kekeringan yang lebih ekstrem, mungkin berisiko kepunahan.
- b. **Habitat yang Terbatas:** Spesies-spesies yang memiliki habitat yang sudah sempit atau terfragmentasi mungkin lebih rentan terhadap perubahan iklim. Jika habitat asli mereka menjadi tidak sesuai atau tidak dapat mendukung kehidupan mereka lagi karena perubahan iklim, spesies-spesies tersebut mungkin menghadapi risiko kepunahan.

karena kurangnya kemampuan untuk bermigrasi atau menemukan habitat yang baru.

- c. **Ketergantungan pada Kondisi Iklim Tertentu:** Beberapa spesies mungkin sangat tergantung pada kondisi iklim tertentu untuk bertahan hidup dan bereproduksi. Perubahan iklim yang cepat dan drastis dapat mengganggu pola musim, siklus hidup, dan ketersediaan sumber daya alami yang diperlukan oleh spesies-spesies tersebut. Akibatnya, spesies-spesies ini mungkin menghadapi tekanan besar yang dapat menyebabkan penurunan populasi dan bahkan kepunahan.
- d. **Interaksi dengan Spesies Lain:** Perubahan iklim juga dapat mempengaruhi interaksi antarspesies, seperti persaingan untuk sumber daya atau interaksi predator-mangsa. Ketidakcocokan antara spesies dalam hal waktu beraktivitas atau ketersediaan makanan dapat menyebabkan penurunan populasi atau bahkan kepunahan pada spesies-spesies tertentu.

Risiko ekstinksi akibat perubahan iklim merupakan salah satu tantangan terbesar dalam pelestarian keanekaragaman hayati di seluruh dunia. Upaya perlindungan habitat, mitigasi perubahan iklim, dan peningkatan kesadaran masyarakat menjadi sangat penting untuk mengurangi dampak negatifnya dan mempertahankan keberagaman hayati di planet ini.

5. **Perubahan Ekosistem:**

Perubahan iklim memiliki dampak yang signifikan pada struktur dan fungsi ekosistem di seluruh dunia. Berikut adalah beberapa penjelasan tentang perubahan ekosistem yang diakibatkan oleh perubahan iklim:

- a. **Ketersediaan Sumber Daya:** Perubahan suhu dan pola curah hujan dapat mempengaruhi ketersediaan sumber daya alami seperti air, makanan, dan tempat berlindung. Misalnya, peningkatan suhu dan kekeringan dapat mengurangi ketersediaan air untuk tumbuhan dan hewan, sementara perubahan pola hujan dapat mempengaruhi ketersediaan makanan bagi berbagai spesies.

- b. Pola Migrasi:** Perubahan iklim juga dapat mempengaruhi pola migrasi berbagai spesies. Peningkatan suhu atau perubahan pola hujan dapat memicu perubahan dalam migrasi burung, mamalia, dan ikan, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi dinamika populasi dan interaksi antarspesies di berbagai ekosistem.
- c. Interaksi Antar Spesies:** Perubahan iklim juga dapat mengubah interaksi antarspesies dalam ekosistem. Misalnya, perubahan suhu air laut dapat mempengaruhi distribusi dan kelimpahan plankton, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi makanan bagi ikan dan mamalia laut. Gangguan dalam interaksi antarspesies ini dapat mengganggu rantai makanan dan keseimbangan ekologi di ekosistem tersebut.
- d. Perubahan Lanskap:** Perubahan iklim juga dapat mempengaruhi struktur fisik ekosistem, seperti perubahan dalam tutupan vegetasi, distribusi hutan, dan komposisi spesies. Misalnya, peningkatan suhu dapat mempercepat laju deforestasi di beberapa wilayah, sementara perubahan pola hujan dapat mengubah distribusi tumbuhan dan keanekaragaman hayati di ekosistem daratan.
- e. Kerentanan Terhadap Gangguan Tambahan:** Perubahan iklim juga dapat membuat ekosistem lebih rentan terhadap gangguan tambahan, seperti kebakaran hutan, wabah penyakit, dan invasi spesies asing. Perubahan dalam kondisi lingkungan dapat melemahkan ketahanan ekosistem dan membuatnya lebih sulit bagi ekosistem untuk pulih setelah terkena gangguan tambahan.

Perubahan ekosistem yang diakibatkan oleh perubahan iklim merupakan tantangan serius dalam pelestarian keanekaragaman hayati dan keseimbangan ekologi di planet ini. Upaya untuk memahami dan mengurangi dampak perubahan iklim pada ekosistem menjadi semakin penting untuk menjaga kelestarian lingkungan alamiah dan memastikan kelangsungan hidup semua bentuk kehidupan di bumi.

Upaya pelestarian biodiversitas menjadi semakin penting dalam menghadapi tantangan perubahan iklim ini. Perlindungan habitat, manajemen sumber daya alam yang berkelanjutan, dan upaya adaptasi dan mitigasi perubahan iklim adalah beberapa langkah yang dapat diambil untuk membantu menjaga keanekaragaman hayati di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- 'Dampak Perubahan Iklim Terhadap Biodiversitas' (no date).
- Darmawan, M.J. (2024) 'Dampak Perubahan Iklim Terhadap Keanekaragaman Hayati: Tantangan Dan Program Studi Teknik Mesin', 4(2), pp. 113–119.
- Dewi, A.R. and Rosalina, E. (2022) 'Mengenal Perubahan Iklim', *IRID: Indonesia Research Institute for Decarbonization*, 1(1), p. 13. Available at: <https://irid.or.id/wp-content/uploads/2022/08/FINAL-Mengenal-Perubahan-Iklim.pdf>.
- Hasdiana, U. (2018). *Analytical Biochemistry*. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002-7%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024%0Ahttps://doi.org/10.1080/07352689.2018.1441103%0Ahttp://www.chile.bmw-motorrad.cl/sync/showroom/lam/es/>.
- IPCC-IPBES (2020) 'Biodiversity and Climate Change: Scientific outcome', *Ipbes-Ipcc Co-Sponsored Workshop*, pp. 1–234. Available at: https://ipbes.net/sites/default/files/2021-06/2021_IPCC-IPBES_scientific_outcome_20210612.pdf.
- Lubis, D.P. (2011) 'Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Keanekaragaman Hayati Di Indonesia', *Jurnal Geografi*, 3(2), pp. 107–117.
- Muchammad Zaenal Muttaqin (2020) 'Aplikasi Penggunaan Analisis Statistik Faktor Sebagai Alat Bantu Penentuan Karakteristik Kualitas Air Studi Kasus : Sungai Code Yogyakarta', *Seminar Nasional "Mitigasi Dan Strategi Adaptasi Dampak Perubahan Iklim Di Indonesia"*, pp. 172–180.
- Ramos-Jiliberto, R., Moisset de Espanés, P. and Vázquez, D.P. (2020) 'Pollinator declines and the stability of plant-pollinator networks', *Ecosphere*, 11(4). Available at: <https://doi.org/10.1002/ecs2.3069>.
- Santosa, R.W. (2013) 'Dampak Pencemaran Lingkungan Laut Oleh Perusahaan Pertambangan Terhadap Nelayan Tradisional', *Lex Administratum*, 1(2), pp. 65–78. Available at:

https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrXhWrMtT9jcVsAVkf3RQx;_ylu=Y29sbwMEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1665148493/RO=10/RU=https%3A%2F%2Fwww.semanticscholar.org%2Fpaper%2FDAMPAK-PENCEMARAN-LINGKUNGAN-LAUT-OLEH-PERUSAHAAN-Santosa.%2F4711c497dba7dbaf54a8736.

- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2016) 'Biodiversity and Climate Change - Making use of the findings of the IPCCs Fifth Assessment Report', *United Nations Environment Programme* [Preprint].
- Surakusumah, W., Com, W. and Biologi, J. (1994) 'Makalah Perubahan Lingkungan Global PERUBAHAN IKLIM DAN PENGARUHNYA TERHADAP KEANEKARAGAMAN HAYATI', pp. 1–24.
- Tumbrinck, J. and Skejo, J. (2017) 'Taxonomic and biogeographic revision of the New Guinean genus *Ophiotettix* Walker, 1871 (Tetrigidae: Metrodorinae: Ophiotettigini trib. nov.), with the descriptions of 33 new species', *Biodiversity, biogeography and nature conservation in Wallacea and New Guinea*, 1871, pp. 525–580 (+ Plates 104–124). Available at: <https://www.nhbs.com/biodiversity-biogeography-and-nature-conservation-in-wallacea-and-new-guinea-volume-3-book>.
- Ummah, M.S. (2019a). *Sustainability (Switzerland)*. Available at: http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI.
- Ummah, M.S. (2019b) *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), pp. 1–14. Available at: http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI.

AN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI.

Waluya, B. (2006) 'Konsep Lingkungan Hidup', *Pengelolaan Lingkungan Hidup untuk SMA*, pp. 1-10. Available at: http://file.upi.edu/Direktori/FPIPS/JUR._PEND._GEOGRAFI/197210242001121-BAGJA_WALUYA/Pengelolaan_Lingkungan_Hidup_untuk_Tk_SMA/BAB_1_Konsep_lingkungan.pdf.

BAB 7

PENGASAMAN LAUTAN TERHADAP BIODIVERSITAS LAUT

Oleh Nur Indah Sari Arbit

7.1 Pendahuluan

Pengasaman lautan adalah fenomena yang terjadi karena penyerapan gas karbon dioksida (CO_2) oleh perairan laut, yang menyebabkan penurunan pH air laut. Proses ini telah menjadi subjek utama studi perubahan iklim di seluruh dunia karena efeknya terhadap ekosistem laut. Sejak era industri, pH permukaan laut telah turun dan diperkirakan akan terus menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi CO_2 di atmosfer. Pengasaman interior laut telah menyebabkan penurunan pH lebih dari 0,1 unit di 100 m teratas, dengan hampir 50% dari perubahan ini terjadi dalam 20 tahun terakhir (1994-2014) (Müller and Gruber, 2024). Hal ini disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi. Kondisi kimiawi laut yang stabil menentukan seberapa besar fenomena ini dapat mempengaruhi berbagai aspek kehidupan laut (Hadi, 2024).

Pengasaman lautan terjadi ketika karbon dioksida yang terlarut dalam air laut berreaksi dengan air, membentuk asam karbonat. Asam karbonat ini kemudian terdisosiasi menjadi ion hidrogen dan bikarbonat, yang menurunkan pH, sehingga dapat mengubah keseimbangan kimiawi laut secara signifikan (Riebesell and Gattuso, 2015). Penurunan pH ini dapat mengganggu kemampuan organisme laut untuk membuat dan mempertahankan struktur kalsium karbonat, seperti cangkang moluska dan kerangka karang (Gazeau *et al.*, 2024). Hal ini dapat mempengaruhi struktur ekosistem laut dan akhirnya mengganggu kestabilan ekosistem.

Pengasaman lautan juga membahayakan keanekaragaman hayati laut, terutama spesies yang bergantung pada kalsium karbonat, seperti plankton, kerang, dan karang, yang merupakan

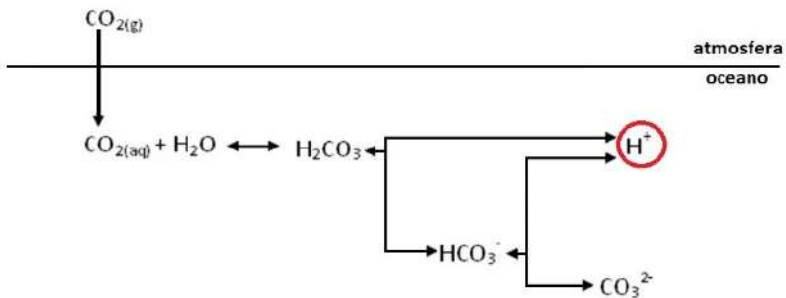
dasar rantai makanan laut. Komunitas biota laut dapat mengalami penurunan biomassa dan perubahan komposisi karena penurunan kemampuan organisme ini untuk membentuk cangkang atau kerangka (Kroeker *et al.*, 2013). Sebagai contoh, penelitian menunjukkan bahwa terumbu karang di tempat yang lebih terasosiasi mengalami penurunan kemampuan untuk memproduksi kalsium karbonat. Ini berdampak pada kelangsungan hidup koloni karang dan spesies terkait lainnya (Yang, 2024).

Produksi primer laut juga berubah sebagai akibat dari pengasaman lautan. Perubahan kimiawi ini mengancam populasi plankton, produsen utama ekosistem laut, karena mereka tidak dapat menghasilkan struktur kalsium karbonat. Penurunan populasi plankton akan mempengaruhi seluruh rantai makanan laut, yang pada akhirnya akan berdampak pada sektor perikanan dan keberlanjutan ekosistem laut (Hu, 2024). Oleh karena itu, penting untuk memahami lebih lanjut mengenai pengasaman lautan untuk merumuskan strategi perlindungan dan mitigasi yang dapat mengurangi dampak negatifnya terhadap keanekaragaman hayati laut.

Bab ini membahas pengasaman lautan dari sudut pandang ilmiah, mulai dari penyebab, proses, hingga dampaknya terhadap biodiversitas laut. Fokus utama adalah peran CO₂ sebagai penyebab utama pengasaman, yang meningkatkan konsentrasi gas ini dan memengaruhi pH air laut, serta dampak langsungnya terhadap spesies yang bergantung pada kalsium karbonat seperti karang, moluska, dan plankton. Bab ini juga mengulas kerentanan spesies laut terhadap perubahan kondisi kimiawi air laut melalui berbagai penelitian terbaru, serta ancaman terhadap ekosistem laut secara keseluruhan. Selain itu, dibahas pula konsekuensi ekologis dan ekonomis pengasaman lautan, termasuk dampaknya terhadap produktivitas ekosistem laut, fungsi ekosistem, dan sektor perikanan. Pendekatan mitigasi dan adaptasi yang sedang dikembangkan serta kebijakan yang dibutuhkan untuk mengurangi dampak perubahan iklim terhadap keberlanjutan ekosistem laut dan keanekaragaman hayati juga akan dijelaskan untuk memberikan gambaran holistik tentang tantangan global yang dihadapi oleh ekosistem laut.

7.2 Proses Pengasaman Lautan

Penyerapan gas karbon dioksida (CO_2) yang meningkat di atmosfer menyebabkan pengasaman lautan. Laut adalah penyerap utama CO_2 yang dilepaskan oleh aktivitas manusia, tetapi kapasitas mereka sangat terbatas. Proses ini dimulai ketika karbon dioksida terlarut dalam air laut dan bereaksi dengan air untuk membentuk asam karbonat (H_2CO_3) hal ini dapat dilihat pada Gambar 1. Selanjutnya, ion hidrogen (H^+) dan ion bikarbonat (HCO_3^-) terdisosiasi, menurunkan pH air laut, yang dikenal sebagai pengasaman lautan (Doney *et al.*, 2012).



Gambar 7.1. Ringkasan sistem karbonat yang terjadi di lautan (Nogueira, Viana and Dos Santos, 2023)

Keseimbangan kimiawi dalam air laut dapat berubah sebagai akibat dari pengasaman lautan, yang pada gilirannya mempengaruhi proses biologis yang bergantung pada kondisi tersebut (Duvane and Dupont, 2024). Sebagai contoh, air laut yang lebih asam dapat mengganggu organisme laut yang bergantung pada pembentukan kalsium karbonat, seperti plankton, terumbu karang, dan moluska, untuk membangun kerangka atau cangkang (Hendriks *et al.*, 2015). Proses ini menjadi semakin signifikan dengan meningkatnya konsentrasi CO_2 yang terlarut dalam air laut. Peningkatan CO_2 dalam atmosfer juga mengarah pada peningkatan ketersediaan ion hidrogen, yang mempercepat laju penurunan pH air laut (Yang, 2024).

Selain itu, lautan memiliki kapasitas penyangga untuk menetralkan sebagian besar asam yang dihasilkan oleh proses

pengasaman, tetapi kapasitas penyangga ini semakin terbatas seiring dengan meningkatnya jumlah CO₂ yang terlarut, terutama di daerah laut yang lebih dalam. Karena interaksi langsung antara atmosfer dan perairan dangkal yang lebih terpapar, proses pengasaman terjadi lebih cepat di daerah yang lebih dangkal, seperti perairan pesisir (Doney *et al.*, 2012). Suhu air laut yang meningkat sebagai akibat dari pemanasan global juga dapat mempercepat proses pengasaman karena suhu tinggi dapat mengurangi kemampuan air laut untuk menyerap CO₂ (Slesinger *et al.*, 2024).

Polutan lainnya yang dapat mengubah sifat kimiawi laut dapat memengaruhi pengasaman lautan yaitu penggunaan fosfat dan nitrat dari run-off pertanian, misalnya, dapat memperburuk pengasaman lautan dengan meningkatkan konsentrasi bahan organik di laut dan mempercepat proses eutrofikasi, yang meningkatkan pengasaman dengan meningkatkan laju respirasi mikroorganisme yang mengkonsumsi oksigen dan menghasilkan CO₂, kemudian menambah akumulasi asam karbonat di laut (Wallace *et al.*, 2014). Kombinasi dari faktor-faktor ini menciptakan kondisi yang lebih sulit bagi ekosistem laut untuk beradaptasi dengan perubahan yang sedang berlangsung.

Meningkatnya pengetahuan tentang proses kimiawi yang menyebabkan pengasaman lautan meningkatkan fokus pada dampak jangka panjang terhadap biodiversitas laut. Segala bagian kehidupan laut, dari mikroorganisme hingga spesies yang lebih besar, seperti ikan dan mamalia laut, dapat dipengaruhi oleh penurunan pH. Pengaruh ini dapat terjadi secara langsung, seperti penurunan kemampuan organisme untuk membentuk cangkang atau kerangka, atau secara tidak langsung, seperti perubahan dalam rantai makanan laut dan gangguan dalam ekosistem (Barry and Widdicombe, 2011).

7.3 Dampak Pengasaman Laut terhadap Ekosistem Laut

Pengasaman lautan membawa dampak besar terhadap ekosistem laut, terutama pada spesies yang bergantung pada pembentukan kalsium karbonat, seperti terumbu karang, moluska, dan plankton. Organisme-organisme ini memiliki peran yang sangat

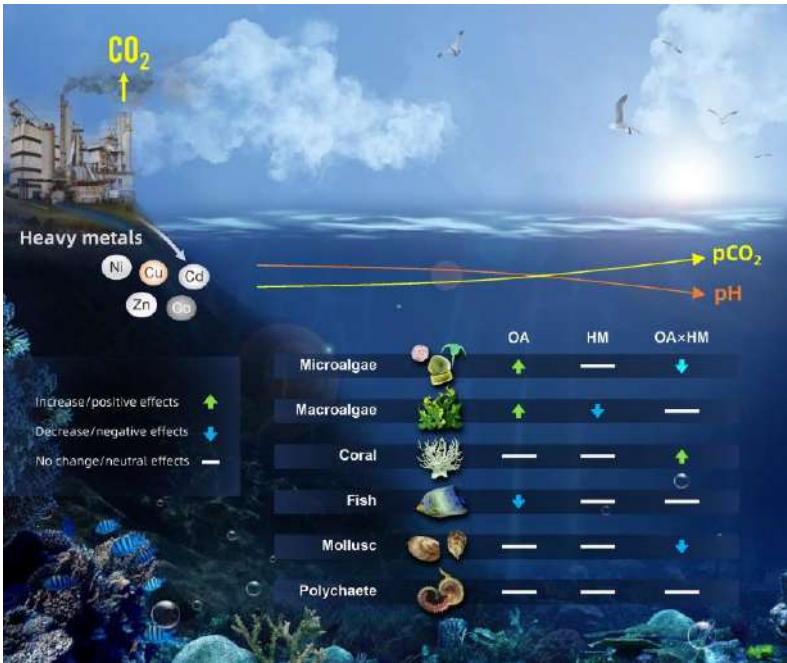
penting dalam menjaga kestabilan ekosistem laut. Proses pengasaman yang mengurangi ketersediaan ion karbonat (CO_3^{2-}) dalam air laut menyebabkan kesulitan bagi organisme ini dalam membangun dan mempertahankan struktur kalsium karbonat mereka. Terumbu karang, sebagai contoh, bergantung pada pembentukan kalsium karbonat untuk membangun kerangka mereka, dan pengasaman dapat mengurangi laju pembentukan kerangka karang, menyebabkan degradasi terumbu karang secara perlahan (Albright et al., 2016). Penurunan kualitas terumbu karang dapat mengancam keanekaragaman hayati laut dan mengganggu habitat bagi banyak spesies.

Selain terumbu karang, moluska juga sangat terpengaruh oleh pengasaman lautan. Spesies moluska seperti kerang dan siput laut, yang juga membangun cangkang berbasis kalsium karbonat, dapat mengalami penurunan laju pertumbuhan dan kelangsungan hidup akibat pengurangan ketersediaan ion karbonat. Penurunan ukuran dan kekuatan cangkang moluska ini dapat mengganggu kemampuan mereka untuk bertahan hidup dari predator dan meningkatkan kerentanannya terhadap penyakit (Talmage & Gobler, 2010). Dampak ini pada moluska berpotensi mengganggu seluruh ekosistem, mengingat pentingnya moluska dalam rantai makanan laut dan fungsi ekosistem seperti filtrasi air dan pengendalian populasi alga.

Pengasaman lautan juga mempengaruhi komunitas plankton, yang merupakan dasar dari rantai makanan laut. Plankton seperti copepoda dan fitoplankton, yang berperan dalam siklus karbon dan nitrogen di laut, terancam oleh perubahan pH. Penurunan pH dapat mempengaruhi kemampuan plankton untuk mempertahankan struktur kalsium karbonat mereka atau mengubah proses fisiologis lainnya, yang dapat mengurangi produktivitas mereka. Hal ini berpotensi menyebabkan penurunan jumlah plankton yang tersedia sebagai sumber makanan bagi banyak spesies laut, termasuk ikan dan mamalia laut (Pörtner et al., 2014). Penurunan plankton dapat memperburuk dampak pengasaman lautan, menciptakan umpan balik negatif yang mempengaruhi seluruh ekosistem laut.

Lebih lanjut, perubahan yang disebabkan oleh pengasaman dapat memperburuk masalah lain yang dihadapi ekosistem laut,

seperti pemanasan global dan polusi laut. Pemanasan laut yang bersamaan dengan pengasaman lautan memperburuk stres yang dialami oleh banyak spesies laut. Pemanasan air laut mengurangi kelarutan gas terlarut, termasuk oksigen, yang dapat mengurangi jumlah oksigen yang tersedia untuk organisme laut. Di samping itu, polutan seperti logam berat dapat lebih mudah terlarut dalam air laut yang lebih asam, yang memperburuk kondisi bagi organisme laut yang sudah tertekan akibat perubahan pH (Barton et al., 2019). Oleh karena itu, pengasaman lautan berinteraksi dengan perubahan iklim dan polusi untuk menciptakan tantangan yang lebih besar bagi keberlanjutan ekosistem laut. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 7.2.



Gambar 7.2. Diagram konseptual yang menggambarkan dampak pengasaman lautan (OA), logam berat (HM), dan interaksinya terhadap beragam taksa (mikroalga, makroalga, karang, ikan, moluska, polychaetes) yang dibuktikan dengan hasil meta analisis yang disajikan pada gambar, panah menunjukkan arah perubahan (Jin et al., 2021)

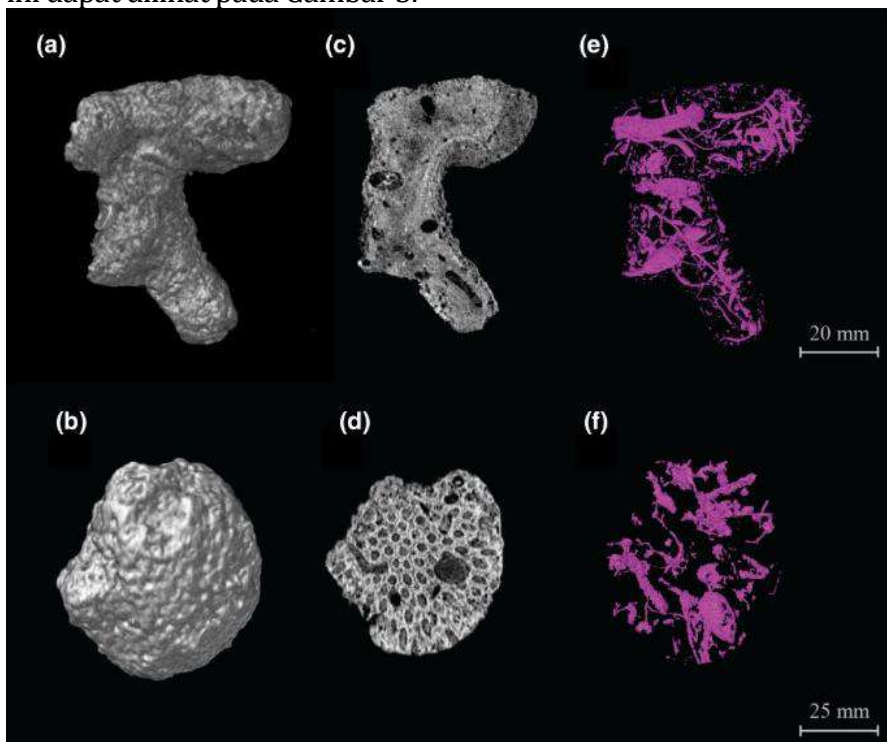
Dampak jangka panjang dari pengasaman lautan terhadap ekosistem laut sangat bergantung pada kapasitas adaptasi spesies dan kecepatan perubahan lingkungan. Beberapa spesies mungkin dapat beradaptasi, tetapi adaptasi ini mungkin membutuhkan waktu yang lama dan mungkin tidak cukup cepat untuk mengatasi laju perubahan yang terjadi. Oleh karena itu, untuk mengurangi dampak pengasaman terhadap biodiversitas laut, upaya mitigasi dan adaptasi seperti perlindungan terumbu karang, pengurangan emisi CO₂ global, dan pengelolaan kawasan laut yang lebih baik sangat penting (Gattuso *et al.*, 2015).

7.4 Pengasaman Laut dan Keanekaragaman Hayati Laut

Keanekaragaman hayati laut terdiri dari berbagai jenis organisme, dari plankton kecil hingga mamalia laut besar, dan memiliki banyak peran ekologi yang saling bergantung, dan pengasaman lautan dapat berdampak besar pada spesies yang rentan terhadap perubahan pH air laut. Namun, tingkat asiditas laut yang lebih tinggi dapat mengganggu keseimbangan ekosistem ini. Pengasaman mengancam spesies laut seperti karang, moluska, dan banyak plankton yang tidak dapat beradaptasi dengan perubahan kimiawi laut (Hendriks, Duarte and Álvarez, 2010). Terumbu karang, sebagai salah satu ekosistem yang memiliki keanekaragaman yang tinggi di dunia, akan merasakan dampak langsung dari pengasaman, mengingat bahwa pembentukan kalsium karbonat yang diperlukan untuk pertumbuhannya akan terganggu (Peytoureau *et al.*, 2023).

Karang karang sangat bergantung pada kalsium karbonat untuk membentuk kerangka keras mereka, yang menyediakan habitat bagi banyak spesies laut lainnya. Ketika ketersediaan ion karbonat berkurang, proses pembentukan kerangka ini menjadi lebih sulit, yang mengarah pada fragilisasi terumbu karang dan penurunan kemampuan mereka untuk bertahan dari ancaman lain seperti pemanasan laut dan polusi. Tingkat bioerosi dan kalsifikasi dalam puing-puing karang yang terpapar kondisi pengasaman selama 55 hari mengalami peningkatan yang signifikan. Dalam kondisi pH saat ini, tingkat kehilangan karbonat bersih adalah 1,36

kilogram per tahun. Ini meningkat menjadi 1,84 kilogram per tahun dalam kondisi pengasaman tinggi dan 1,59 kilogram per tahun dalam kondisi pengasaman tinggi. Ini menunjukkan pengasaman mempercepat kehilangan kerangka karang (Webb *et al.*, 2024). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 7.3. Pemindaian CT dari puing-puing karang yang menunjukkan rekonstruksi 3D (a, b), irisan ortogonal (c, d), dan jejak bioerosi (e, f) dari dua contoh contoh puing-puing; *Porites* spp. (atas) dan fragmen *Orbicella* spp. (bawah) yang dikumpulkan di Cheeca Rocks dan terumbu Little Conch (Webb *et al.*, 2024)

Penurunan kualitas terumbu karang tidak hanya berdampak pada spesies karang itu sendiri, tetapi juga pada ribuan spesies lain yang bergantung pada terumbu karang sebagai habitat, termasuk ikan, invertebrata, dan organisme benthik (Sunday *et al.*, 2017). Banyak spesies yang bergantung pada terumbu karang akan kehilangan tempat hidup mereka dengan semakin berkurangnya

habitat mereka. Akibatnya, keanekaragaman hayati laut secara keseluruhan akan menurun.

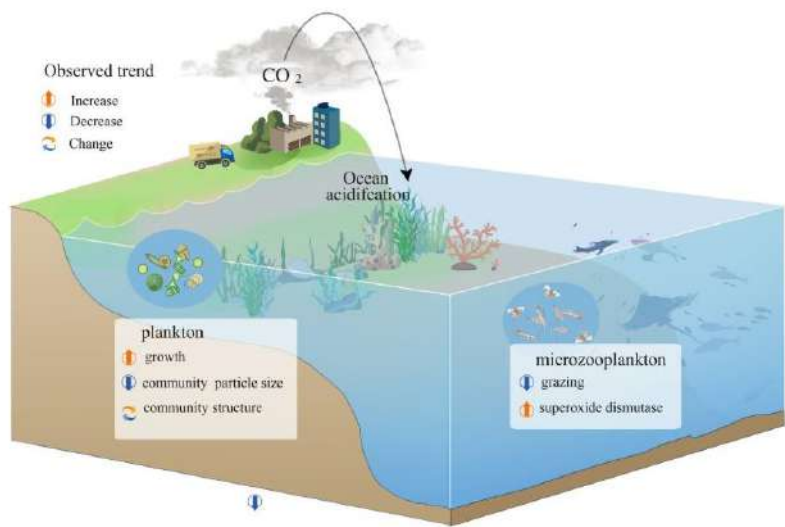
Selain karang, moluska juga sangat rentan terhadap pengasaman laut. Banyak moluska laut, seperti kerang dan siput, yang membangun cangkang dari kalsium karbonat (Guo *et al.*, 2023). Banyak spesies yang bergantung pada moluska sebagai sumber makanan mereka, seperti ikan dan burung laut, akan terkena dampak penurunan populasi moluska karena penurunan pH, yang mengakibatkan pengurangan ketersediaan ion karbonat, yang menghambat kemampuan moluska untuk membentuk dan memelihara cangkang (Barry and Widdicombe, 2011). Selain itu, moluska memainkan peran penting dalam berbagai siklus ekosistem laut, termasuk pengendalian alga dan filtrasi air. Namun, penurunan populasi mereka akan menghentikan peran ini. Keanekaragaman spesies tidak selalu menunjukkan keanekaragaman fungsional, hal ini dapat dilihat pada Gambar 7.4.



Gambar 7.4. Perhatikan bahwa kedua kelompok memiliki kekayaan dan keanekaragaman spesies yang sama (satu individu dari masing-masing delapan spesies moluska), tetapi kelompok di sebelah kanan memiliki perbedaan taksonomi dan keanekaragaman fungsional yang lebih besar (Barry and Widdicombe, 2011)

Plankton, baik zooplankton maupun fitoplankton, memainkan peran penting dalam produktivitas primer laut dan mendukung kehidupan organisme laut lainnya, dan spesies plankton dapat dipengaruhi oleh pengasaman. Plankton adalah komponen penting

dari rantai makanan laut. Namun, penurunan jumlah plankton dapat mengurangi jumlah sumber makanan yang tersedia bagi spesies yang lebih besar, termasuk ikan yang sangat penting bagi ekonomi perikanan, karena perubahan pH dapat mengganggu kemampuan plankton untuk mempertahankan struktur tubuh mereka, terutama bagi spesies yang membentuk cangkang kalsium karbonat (Shi *et al.*, 2024). Gambar 7.5 menunjukkan bahwa hal ini berpotensi menyebabkan penurunan yang signifikan dalam biomassa laut. Ini akan mengganggu keseimbangan ekosistem dan memengaruhi keanekaragaman hayati laut secara keseluruhan.



Gambar 7.5. Diagram skematik dampak pengasaman laut terhadap dinamika ekosistem planktonik (Shi *et al.*, 2024)

Pengasaman lautan tidak hanya memiliki dampak langsung terhadap spesies yang membentuk kalsium karbonat, tetapi juga dapat mengubah cara spesies berinteraksi satu sama lain di ekosistem laut. Misalnya, spesies predator tertentu mungkin lebih baik beradaptasi dengan perubahan pH, sedangkan spesies herbivora atau spesies pemangsa lainnya yang bergantung pada organisme yang rentan terhadap pengasaman mungkin berkurang. Ini dapat menyebabkan perubahan dalam struktur komunitas laut,

dengan dominasi spesies tertentu dan penurunan atau hilangnya spesies lainnya. Keanekaragaman hayati yang lebih rendah akan mengurangi daya tahan ekosistem laut terhadap ancaman seperti perubahan iklim. Ini juga akan mempengaruhi keberlanjutan sumber daya laut, yang merupakan kebutuhan manusia.

7.5 Pengasaman Laut dan Dampaknya terhadap Sumber Daya Alam Laut

7.5.1 Pengaruh Pengasaman terhadap Sektor Perikanan dan Akuakultur

Perikanan dan akuakultur sangat bergantung pada kesehatan ekosistem laut, jadi pengasaman lautan sangat berdampak. Salah satu efek yang paling terlihat adalah penurunan populasi spesies yang membentuk kalsium karbonat, seperti moluska (cumi-cumi, remis, dan kerang), yang sangat penting untuk industri akuakultur dan perikanan di banyak negara. Jika pH air laut turun, ketersediaan ion karbonat yang diperlukan spesies untuk membentuk cangkang berkurang, yang mengurangi pertumbuhan dan kelangsungan hidup spesies (Zhang, 2024). Industri akuakultur yang bergantung pada budidaya spesies moluska akan mengalami kerugian besar jika jumlah moluska berkurang. Hal ini dapat memperburuk ketergantungan manusia pada produk perikanan lainnya dan mempengaruhi ketahanan pangan, terutama di negara-negara pesisir yang bergantung pada perikanan sebagai sumber pendapatan dan protein mereka.

Selain itu, pengasaman lautan membahayakan sektor perikanan yang lebih luas, terutama bagi spesies ikan yang bergantung pada plankton sebagai sumber makanan utama mereka. Pengasaman dapat menyebabkan penurunan jumlah plankton yang signifikan, yang pada gilirannya dapat mengakibatkan penurunan biomassa ikan yang bergantung pada plankton untuk bertahan hidup. Hal ini akan menyebabkan hasil tangkapan ikan menjadi lebih buruk dan berdampak negatif pada ketahanan sektor perikanan di seluruh dunia (Noor and Das, 2019). Di kawasan yang sangat bergantung pada perikanan sebagai penghasil ekonomi utama, seperti negara-negara kecil kepulauan Pasifik dan Asia

Tenggara, pengasaman lautan bisa menjadi ancaman serius yang mempengaruhi mata pencaharian ribuan orang (Falconer, 2018).

7.5.2 Implikasi Ekonomi dan Sosial

Pengaruh pengasaman lautan terhadap perikanan dan akuakultur memiliki dampak ekonomi yang jauh lebih luas, terutama di negara-negara yang bergantung pada sumber daya laut sebagai sumber utama pendapatan mereka. Jika hasil tangkapan ikan, moluska, dan spesies laut lainnya turun, pendapatan nelayan dan perusahaan yang bekerja dalam industri perikanan dan akuakultur akan turun. Ini dapat menyebabkan kemiskinan yang lebih tinggi di daerah pesisir, di mana perikanan merupakan sumber utama pendapatan dan mata pencaharian masyarakat. Selain itu, negara-negara berkembang yang bergantung pada ekspor produk laut akan mengalami dampak negatif terhadap pendapatan nasional dan ketahanan pangan. Dengan hasil tangkapan yang menurun, negara-negara ini mungkin harus mencari sumber daya lain untuk memenuhi permintaan pasar global, yang dapat menimbulkan masalah ekonomi yang signifikan (Moore and Fuller, 2020).

Selain dampak langsung pada ekonomi, pengasaman laut dapat berdampak pada kehidupan sosial dan budaya penduduk pesisir yang telah lama bergantung pada perikanan. Banyak komunitas di seluruh dunia bergantung pada perikanan dan bergantung pada hasil laut sebagai sumber protein mereka. Namun, penurunan populasi ikan dan kerang, bersama dengan penurunan hasil akuakultur, dapat menyebabkan perubahan pola makan dan budaya di masyarakat pesisir. Ketahanan pangan dan struktur sosial yang terkait dengan perikanan dan pariwisata laut dipengaruhi oleh ketergantungan mereka pada hasil laut (Fernandes *et al.*, 2017). Ketegangan sosial yang lebih luas dapat muncul sebagai akibat dari peningkatan pengangguran dan penurunan kualitas hidup di wilayah pesisir yang bergantung pada industri ini.

Meningkatnya konflik terkait pengelolaan sumber daya laut yang terbatas akan memperburuk dampak sosial. Seiring dengan berkurangnya hasil tangkapan laut, persaingan untuk mengakses dan memanfaatkan sumber daya alam ini akan semakin meningkat. Dalam banyak kasus, hal ini dapat menyebabkan konflik antara

nelayan tradisional dan perusahaan perikanan besar, yang dapat memperburuk ketimpangan sosial dan kondisi hidup masyarakat pesisir (Savo, Morton and Lepofsky, 2017). Oleh karena itu, untuk menjaga kestabilan sosial dan mencegah eskalasi konflik, perubahan kebijakan pengelolaan sumber daya laut yang lebih adil dan berkelanjutan sangat penting.

Selain itu, pengasaman lautan dapat memperburuk migrasi dan masalah perubahan iklim di seluruh dunia. Masyarakat pesisir dapat dipaksa untuk bermigrasi ke daerah lain dengan akses sumber daya laut yang lebih baik jika produktivitas sumber daya laut berubah. Migrasi ini dapat meningkatkan tekanan pada kota-kota besar dan daerah lain yang sudah mengalami kepadatan penduduk. Oleh karena itu, pengasaman laut memiliki potensi untuk memperburuk dinamika migrasi di seluruh dunia dan meningkatkan kesulitan yang dihadapi oleh negara-negara penerima migran, terutama mereka yang sedang menghadapi tantangan perubahan iklim.

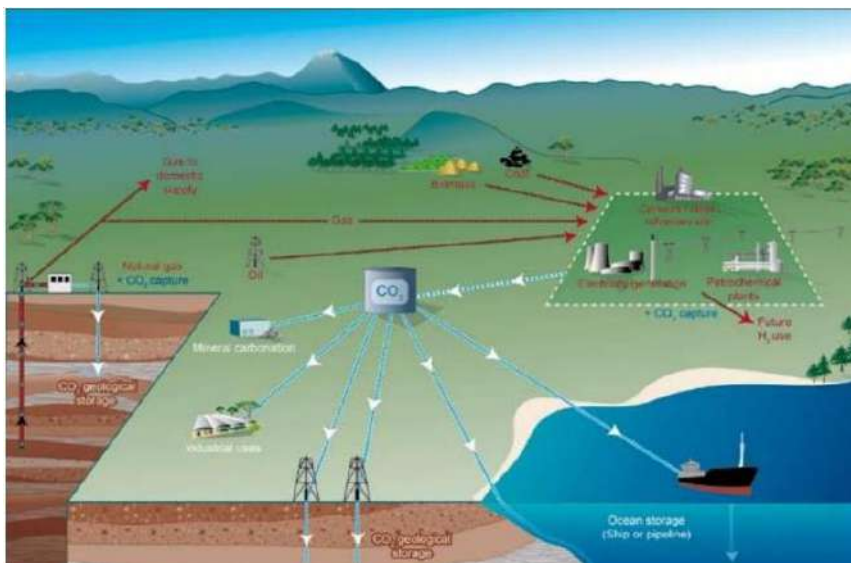
7.6 Mitigasi dan Adaptasi terhadap Pengasaman Laut

7.6.1 Upaya Mitigasi Emisi CO₂

Dalam upaya untuk mengurangi pengasaman laut, fokus utama adalah untuk mengurangi emisi karbon dioksida (CO₂), yang merupakan penyebab utama peningkatan asam karbonat di laut. Salah satu pendekatan utama dalam mitigasi ini adalah dengan membatasi emisi gas rumah kaca yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, yang merupakan penyebab terbesar dari pengasaman laut dan pemanasan global. Perjanjian internasional seperti Perjanjian Paris, menjadi kunci dalam mengurangi laju pengasaman laut (Gattuso *et al.*, 2015). Meningkatkan penggunaan energi terbarukan, mengurangi deforestasi, serta mendorong efisiensi energi di berbagai sektor industri dan transportasi adalah langkah-langkah penting untuk mengurangi emisi CO₂ dan memperlambat proses pengasaman (Ustun, 2016).

Selain itu, ada potensi solusi untuk mengurangi emisi CO₂ yang langsung dilepaskan ke atmosfer dapat dilihat pada Gambar 6. Teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon (CCS) berpotensi

menangkap karbon dari sumbernya dan menyimpannya di bawah permukaan bumi atau di lautan, sehingga mengurangi dampak negatif CO₂ terhadap iklim dan ekosistem laut (Huang, 2024). Namun, untuk memastikan bahwa teknologi CCS ini efektif dan aman dalam jangka panjang, diperlukan investasi besar dan pengembangan lebih lanjut. Oleh karena itu, penting untuk terus mendorong penelitian dan pengembangan teknologi hijau untuk mencegah pengasaman laut.



Gambar 7.6. Diagram skematik CCS (Jr and Velloso, 2020)

7.6.2 Strategi Adaptasi untuk Melindungi Biodiversitas Laut

Sangat penting untuk memiliki strategi adaptasi yang efektif mengingat potensi dampak pengasaman terhadap biodiversitas laut, terutama terumbu karang, moluska, dan plankton. Melindungi dan merevitalisasi ekosistem pesisir yang berpotensi mengurangi dampak pengasaman, seperti terumbu karang, hutan mangrove, dan lamun, adalah salah satu pendekatan adaptasi. Ekosistem-ekosistem ini tidak hanya melindungi garis pantai tetapi juga dapat menyelamatkan spesies laut yang terancam pengasaman. Daya tahan ekosistem terhadap perubahan lingkungan yang cepat dapat ditingkatkan melalui upaya restorasi terumbu karang, yang

mencakup penanaman karang dan pembentukan area perlindungan laut (Viehman *et al.*, 2023).

Selain itu, strategi penting untuk meningkatkan kapasitas ekosistem untuk beradaptasi dengan pengasaman laut adalah pengelolaan dan konservasi kawasan laut yang penting untuk keberagaman hayati, seperti kawasan konservasi laut dan taman nasional. Melalui perlindungan kawasan ini, kita dapat mengurangi tekanan dari aktivitas manusia, seperti penangkapan ikan yang berlebihan dan polusi, yang dapat memperburuk dampak pengasaman (Jacquemont *et al.*, 2022).

Dalam strategi adaptasi, penggunaan pendekatan berbasis ekosistem juga penting. Salah satunya adalah pengelolaan zona penyangga, yang dapat menyaring polutan dan mengurangi dampak stres lingkungan seperti pengasaman (Pathak *et al.*, 2022). Kebijakan berbasis ekosistem ini memperhatikan sistem ekologi secara keseluruhan, bukan hanya spesies tertentu, untuk menjaga keseimbangan alam, yang dapat membantu ketahanan biodiversitas laut dalam menghadapi pengasaman dan perubahan iklim.

7.6.3 Rencana Kebijakan Global dan Lokal

Kebijakan yang terkoordinasi di tingkat global dan lokal diperlukan untuk mengatasi pengasaman laut. Sangat penting untuk memperkuat perjanjian internasional yang bertujuan untuk mengurangi emisi karbon dioksida, seperti Perjanjian Paris, yang bertujuan untuk mencegah kenaikan suhu global lebih dari 1,5°C (Gattuso *et al.*, 2015). Penerapan kebijakan seperti ini dapat mengurangi kecepatan pengasaman laut dan memberi waktu bagi ekosistem laut untuk beradaptasi. Selain itu, sangat penting untuk meningkatkan penelitian internasional tentang konsekuensi pengasaman laut dan solusi yang dapat diterapkan, termasuk inovasi dalam hal mitigasi dan adaptasi.

Di tingkat lokal, kebijakan konservasi yang mendukung hutan mangrove, lamun, dan terumbu karang sangat penting. Meningkatkan daya tahan ekosistem laut terhadap pengasaman dapat dicapai melalui penguatan kebijakan lokal yang mendorong pengelolaan sumber daya laut secara berkelanjutan, seperti pengelolaan perikanan berbasis ekosistem dan pembatasan

eksploitasi berlebihan. Program pendidikan dan pelibatan masyarakat sangat penting untuk meningkatkan kesadaran tentang dampak pengasaman laut dan tindakan yang dapat dilakukan di tingkat komunitas untuk mitigasi dan adaptasi (Bell *et al.*, 2018). Dengan menerapkan kebijakan berbasis masyarakat, konservasi yang lebih baik dapat dicapai dan partisipasi lokal dalam menjaga sumber daya alam laut dapat meningkat.

Sebaliknya, penerapan kebijakan ekonomi yang mendukung transisi menuju ekonomi yang memiliki tingkat karbon yang rendah sangat penting. Untuk mendorong masyarakat dan industri menuju praktik yang lebih berkelanjutan, kebijakan seperti pajak karbon, subsidi untuk energi terbarukan, dan insentif bagi sektor industri yang berkomitmen untuk mengurangi emisi karbon dapat diterapkan secara efektif di tingkat lokal (Digitemie and Ekemezie, 2024).

DAFTAR PUSTAKA

- Barry, J.P. and Widdicombe, S. (2011) 'Effects of Ocean Acidification on Marine Biodiversity and Ecosystem Function', in *Ocean Acidification*. Available at: <https://doi.org/10.1093/oso/9780199591091.003.0015>.
- Bell, J.D. *et al.* (2018) 'Adaptations to maintain the contributions of small-scale fisheries to food security in the Pacific Islands', *Marine Policy*, 88(April), pp. 303–314. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.019>.
- Digitemie, W.N. and Ekemezie, I.O. (2024) 'Assessing the role of carbon pricing in global climate change mitigation strategies', *Magna Scientia Advanced Research and Reviews*, 10(2), pp. 022–031. Available at: <https://doi.org/10.30574/msarr.2024.10.2.0040>.
- Doney, S.C. *et al.* (2012) 'Climate change impacts on marine ecosystems', *Annual Review of Marine Science*, 4, pp. 11–37. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-041911-111611>.
- Duvane, J.A. and Dupont, S. (2024) 'Drivers of biological response to fluctuating seawater ph conditions in sea urchin echinus esculentus larvae', *Science of the Total Environment*, 935(May), p. 173383. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173383>.
- Falconer, L. (2018) 'Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture: a Global Analysis', *Journal of Fish Biology*, 92(6), pp. 2045–2046. Available at: <https://doi.org/10.1111/jfb.13640>.
- Fernandes, J.A. *et al.* (2017) 'Estimating the ecological, economic and social impacts of ocean acidification and warming on UK fisheries', *Fish and Fisheries*, 18(3), pp. 389–411. Available at: <https://doi.org/10.1111/faf.12183>.
- Gattuso, J.-P. *et al.* (2015) 'Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios', *Science*, 349(6243). Available at: <https://doi.org/10.1126/science.aac4722>.
- Gazeau, F. *et al.* (2024) 'Toward an ecologically realistic

- experimental system to investigate the multigenerational effects of ocean warming and acidification on benthic invertebrates', *Limnology and Oceanography: Methods*, 22, pp. 738–751. Available at: <https://doi.org/10.1002/lom3.10630>.
- Guo, X. *et al.* (2023) 'Impact of ocean acidification on shells of the abalone species *Haliotis diversicolor* and *Haliotis discus hannai*', *Marine Environmental Research*, 192, p. 106183. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2023.106183>.
- Hadi, G.A. (2024) 'Causes, effects and possible mitigation strategies of ocean acidification', *Journal of Marine Problems and Threats*, 1(1), pp. 10–18. Available at: <https://doi.org/10.61511/jmarpt.v1i1.2024.689>.
- Hendriks, I.E., Duarte, C.M. and Álvarez, M. (2010) 'Vulnerability of marine biodiversity to ocean acidification: A meta-analysis', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86(2), pp. 157–164. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.11.022>.
- Hu, K. (2024) 'An analysis of seashell calcium carbonate dissolution caused by ocean acidification based on chemistry equilibrium', *Applied and Computational Engineering*, 61(1), pp. 122–128. Available at: <https://doi.org/10.54254/2755-2721/61/20240939>.
- Huang, Y. (2024) 'Current status and development trend of carbon capture technology', *Transactions on Environment, Energy and Earth Sciences*, 2.
- Jacquemont, J. *et al.* (2022) 'Ocean conservation boosts climate change mitigation and adaptation', *One Earth*, 5(10), pp. 1126–1138. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.09.002>.
- Jin, P. *et al.* (2021) 'The Combined Effects of Ocean Acidification and Heavy Metals on Marine Organisms: A Meta-Analysis', *Frontiers in Marine Science*, 8(December), pp. 1–14. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.801889>.
- Jr, E.A.V. and Velloso, R.Q. (2020) 'Contributions on numerical modelling and risk assessment of CO₂ injection processes on carboniferous formations', *Innovative Numerical Modelling in*

- Geomechanics*, (January 2012), pp. 427–448. Available at: <https://doi.org/10.1201/b12130-26>.
- Kroeker, K.J. *et al.* (2013) 'Impacts of ocean acidification on marine organisms: Quantifying sensitivities and interaction with warming', *Global Change Biology*, 19(6), pp. 1884–1896. Available at: <https://doi.org/10.1111/gcb.12179>.
- Moore, C. and Fuller, J. (2020) *Economic Impacts of Ocean Acidification: A Meta-Analysis*, NCEE Working Paper.
- Müller, J.D. and Gruber, N. (2024) 'Progression of Ocean Interior Acidification over the Industrial Era', *Science Advances*, pp. 19–26.
- Nogueira, S.M.S., Viana, A.F. and Dos Santos, P.F. (2023) 'Acidificação oceânica: uma questão negligenciada', *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 27(2), pp. 2–7. Available at: <https://doi.org/10.14210/bjast.v27n2.18505>.
- Noor, N.M. and Das, S.K. (2019) 'Effects of Elevated Carbon Dioxide on Marine Ecosystem and Associated Fishes', *Thalassas*, 35(2), pp. 421–429. Available at: <https://doi.org/10.1007/s41208-019-00161-3>.
- Pathak, A. *et al.* (2022) 'Key Considerations for the Use of Nature-Based Solutions in Climate Services and Adaptation', *Sustainability (Switzerland)*, 14(24), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.3390/su142416817>.
- Peytoureau, A.P. *et al.* (2023) 'Sensitivity of Marine Invertebrates to Acidification of Seawater by an Atmosphere Enriched With CO₂', *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 27(02), pp. 33–38. Available at: <https://doi.org/10.14210/bjast.v27n2.20464>.
- Riebesell, U. and Gattuso, J.P. (2015) 'Lessons learned from ocean acidification research', *Nature Climate Change*, 5(1), pp. 12–14. Available at: <https://doi.org/10.1038/nclimate2456>.
- Savo, V., Morton, C. and Lepofsky, D. (2017) 'Impacts of climate change for coastal fishers and implications for fisheries', *Fish and Fisheries*, 18(5), pp. 877–889. Available at: <https://doi.org/10.1111/faf.12212>.
- Shi, W. *et al.* (2024) 'Impact of ocean acidification on microzooplankton grazing dynamics', *Frontiers in Marine*

- Science*, 11(June), pp. 1–15. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1414932>.
- Slesinger, E. *et al.* (2024) 'The combined effects of ocean warming and ocean acidification on Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) early life stages', *Marine Biology*, 171(6), pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00227-024-04439-w>.
- Sunday, J.M. *et al.* (2017) 'Ocean acidification can mediate biodiversity shifts by changing biogenic habitat', *Nature Climate Change*, 7(1), pp. 81–85. Available at: <https://doi.org/10.1038/nclimate3161>.
- Ustun, T.S. (2016) 'Carbon Footprint Reduction in Energy Sector with Higher Penetration of Renewable Energy Resources', in *Intech*, p. 13. Available at: <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>.
- Viehman, T.S. *et al.* (2023) 'Coral restoration for coastal resilience: Integrating ecology, hydrodynamics, and engineering at multiple scales', *Ecosphere*, 14(5), pp. 1–19. Available at: <https://doi.org/10.1002/ecs2.4517>.
- Wallace, R.B. *et al.* (2014) 'Coastal ocean acidification: The other eutrophication problem', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 148, pp. 1–13. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.05.027>.
- Webb, A.E. *et al.* (2024) 'Rubble persistence under ocean acidification threatened by accelerated bioerosion and lower-density coral skeletons', *Global Change Biology*, 30(6), pp. 1–17. Available at: <https://doi.org/10.1111/gcb.17371>.
- Yang, R. (2024) 'The Impact of CO2 Emissions on Ocean pH Levels: Implications for Marine Ecosystems', *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 83, pp. 21–24. Available at: <https://doi.org/10.54097/r4wf2127>.
- Zhang, R. (2024) 'An in-depth assessment of the long-term effects of global ocean acidification on marine ecosystems', *Applied and Computational Engineering*, 56(1), pp. 278–284. Available at: <https://doi.org/10.54254/2755-2721/56/20240674>.

BIODATA PENULIS



Dr. Silvia Permata Sari, SP., MP.

Dosen Program Studi Agroteknologi, Departemen Agronomi
Fakultas Pertanian, Universitas Andalas

Dr. Silvia Permata Sari, SP., MP. lahir di Kota Padang, Sumatera Barat pada tanggal 21 Mei 1986 sebagai anak pertama dari 5 bersaudara dari Bapak Syofyan Tanjung dan Ibu Kasmawati, S.Pd. Penulis lulus pendidikan SD Negeri 30 Cengkeh tahun 1998, SLTP Negeri 11 Padang tahun 2001, dan SMA Negeri 4 Padang tahun 2004. Pendidikan Sarjana (S1) ditempuh di Fakultas Pertanian Universitas Andalas tahun 2004 dan lulus tahun 2008 dengan predikat lulusan terbaik. Penulis mendapatkan beasiswa *Fast Track* Magister (S2) di Universitas Andalas tahun 2008 dan lulus dengan predikat Cumlaude (Dengan Pujian) tahun 2010. Lulus pendidikan Magister, penulis lulus PNS sebagai dosen Fakultas Pertanian, Universitas Andalas pada tahun 2010. Pada tahun 2012, penulis mewakili Indonesia dalam kegiatan pengembangan Gandum Tropis ke Slovakia, Eropa Timur. Tahun 2013-2018, penulis mendapatkan beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri dari Kemeristek Dikti untuk pendidikan Doktor (S3) pada Program Studi Entomologi di Institut Pertanian Bogor (IPB) dengan IPK 3,76. Kemudian tahun 2018, penulis kembali menempuh pendidikan Doktor pada program studi Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas dan lulus pada tahun 2022 dengan IPK 3,97 pada usia 36 tahun. Penulis juga aktif mengikuti berbagai kegiatan, mulai dari mengajar

perkuliaham, penelitian, pengabdian kepada masyarakat, mengikuti seminar nasional dan internasional, menulis jurnal nasional dan internasional terindeks Scopus, Chief editor di jurnal nasional, reviewer jurnal nasional dan jurnal internasional, serta menulis buku dan artikel di media massa nasional maupun internasional. Ucapan Terima Kasih penulis ucapkan kepada Universitas Andalas, LPPM Universitas Andalas yang telah memberi dukungan dana agar untuk buku ini.

BIODATA PENULIS



Jessica Elfani Bermuli, S.Pd., M.Si.

Dosen Program Studi Pendidikan Biologi
Fakultas Ilmu Pendidikan Universitas Pelita Harapan

Penulis lahir di Jakarta dan tercatat sebagai lulusan S1 Universitas Pelita Harapan di Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Ilmu Pendidikan. Pada November tahun 2017, Penulis lulus dari Program Pascasarjana IPB, Program Studi Biologi Tumbuhan, dengan bidang peminatan Ekologi Tumbuhan. Saat ini penulis mengajar sebagai Dosen di Universitas Pelita Harapan, Program Studi Pendidikan Biologi, **Fakultas** Ilmu Pendidikan sejak Januari 2018 hingga sekarang. Penulis telah menghasilkan beberapa jurnal ilmiah dan beberapa *book chapter* di bidang Biologi, serta beberapa jurnal di bidang Biologi dan Pendidikan Biologi.

BIODATA PENULIS



Sukal Minsas

Penulis Sukal Minsas, lahir di Pemangkat pada tanggal 19 Juli 1985, adalah lulusan Program Studi Biologi Universitas Tanjungpura (S-1) dan Universitas Andalas (S-2). Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Ilmu Kelautan, FMIPA Untan, dengan kajian bidang utama pengajaran adalah Bioekologi dan Konservasi, dan fokus riset pada komunitas mangrove dan rumput laut serta kajian budidaya dan pemanfaatan sumber daya hayati laut. Semoga buku ajar Biodiversitas ini dapat menjadi bacaan bermanfaat dan rujukan bagi para pembacanya.

BIODATA PENULIS



Dr. Eneng Rahmi, S.Si, M.Si

Dosen Teknik Sipil
Universitas Nusa Putra

Penulis lahir di Bandung tanggal 26 Agustus 1981. Penulis merupakan seorang PNS pada Pemerintah Daerah Kota Sukabumi dan juga dosen dengan ikatan kerja pada Program Studi Teknik Sipil pada Universitas Nusa Putra. Pendidikan penulis berlatar belakang Biologi mulai dari S1 hingga S2. Adapun untuk Pendidikan S3 penulis mengambil jurusan ilmu lingkungan dan *Behaviour and Social Science Management*. Bidang yang ditekuni oleh penulis tidak jauh dari latar belakang pendidikannya yaitu lingkungan hidup.

BIODATA PENULIS



Visi Tinta Manik, S.Si, M.Si.

Dosen Program Studi Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Siliwangi

Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian (TPHP) Fakultas Pertanian Universitas Siliwangi. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Biologi UPI dan melanjutkan S2 pada Jurusan Bioteknologi ITB. Penulis juga mengajar di Prodi lain seperti Prodi Agroteknologi dengan salah satu mata kuliah yang diampu adalah Keanekaragaman hayati. Beberapa karya publikasi selain jurnal yang telah penulis susun diantaranya adalah buku Biologi Umum dan Buku Teknologi Pemuliaan Tanaman.

BIODATA PENULIS



Dra. Daawia M. Sc.

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas MIPA Universitas Cenderawasih

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

BIODATA PENULIS



Dr. Nur Indah Sari Arbit, S.Si., M.Si

Dosen Program Studi Akuakultur
Fakultas Peternakan dan Perikanan

Penulis lahir di Pangkajene tanggal 19 Januari 1989. Penulis adalah anak dari pasangan Arbit Sadjo (ayah) dan Nuraeni Yusuf (ibu) serta Istri dari Suparjo Razasli Carong (Suami). Menyelesaikan Pendidikan Program Doktor Ilmu Pertanian di Universitas Hasanuddin, Makassar pada Tahun 2019. Magister Pengelolaan Lingkungan Hidup di Universitas Hasanuddin, Makassar pada Tahun 2013. Sarjana Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, di Universitas Hasanuddin, Makassar pada Tahun 2010. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Akuakultur Fakultas Peternakan dan Perikanan, Universitas Sulawesi Barat. Penulis memiliki Bidang keahlian dalam Akuakultur, Budidaya Rumput laut, kualitas air dan lingkungan.