

EKOLOGI AKUATIK

DINAMIKA EKOSISTEM PERAIRAN



Penulis :

**Annisa Bias Cahyanurani | Angraeni | Raudhatus Sa'adah
Agus Widodo | Tri Ari Setyastuti | Roni Bawole**

EKOLOGI AKUATIK DINAMIKA EKOSISTEM PERAIRAN

**Annisa Bias Cahyanurani
Angraeni
Raudhatus Sa'adah
Agus Widodo
Tri Ari Setyastuti
Roni Bawole**



GETPRESS INDONESIA

EKOLOGI AKUATIK DINAMIKA EKOSISTEM PERAIRAN

Penulis : Annisa Bias Cahyanurani
Angraeni
Raudhatus Sa'adah
Agus Widodo
Tri Ari Setyastuti
Roni Bawole

ISBN : 978-623-125-454-2

Editor : Mila Sari, M.Si.

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

Penerbit GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah

Kecamatan Koto Tangah Padang Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id
email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Oktober 2024

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia dan rahmat-Nya, sehingga buku yang berjudul " Ekologi Akuatik Dinamika Ekosistem Perairan " ini dapat diselesaikan. Studi tentang ekologi akuatik telah berkembang pesat seiring dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya melindungi sumber daya air, baik dari perspektif ekologi maupun ekonomi. Buku ini hadir sebagai referensi dalam memahami ekologi akuatik. Ekologi akuatik tidak hanya terbatas pada studi terkait organisme, tetapi juga melibatkan pemahaman tentang interaksi antara faktor biotik dan abiotik yang membentuk ekosistem perairan.

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan buku ini. Semoga karya ini dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang mikrobiologi.

Padang, Oktober 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
BAB 1 EKOLOGI AKUATIK: PENGANTAR DAN RUANG LINGKUPNYA.....	1
1.1 Pengertian Ekologi Akuatik	1
1.2 Klasifikasi Ekosistem Perairan	2
1.3 Komponen Ekosistem Akuatik	5
1.4 Dinamika Energi dalam Ekosistem Perairan	7
1.5 Adaptasi Makhluk Hidup di Ekosistem Perairan.....	7
1.6 Interaksi Ekosistem Akuatik dengan Ekosistem Lain	10
1.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Ekosistem Perairan	12
1.8 Dampak Aktivitas Manusia terhadap Ekosistem Perairan	15
1.9 Konservasi Ekosistem Perairan	17
DAFTAR PUSTAKA.....	19
BAB 2 FAKTOR-FAKTOR LINGKUNGAN DAN INTERAKSI ORGANISME DI PERAIRAN.....	25
2.1 Pendahuluan	25
2.2 Faktor Lingkungan	26
2.3 Interaksi Organisme di Perairan.....	28
2.4 Siklus Energi	45
DAFTAR PUSTAKA.....	47
BAB 3 KEBERAGAMAN HAYATI DAN KARAKTERISTIK ORGANISME AKUATIK.....	49
3.1 Pendahuluan	49
3.2 Jenis-Jenis Keberagaman Hayati	50
3.3 Kenekaragaman Ekosistem Perairan.....	54

3.4 Karakteristik Organisme Akuatik	57
DAFTAR PUSTAKA	63
BAB 4 EKOLOGI AQUATIK.....	67
4.1 Dinamika Ekosistem Perairan	67
4.2 Prinsip Ekologi dalam Perencanaan Kawasan Pesisir	82
DAFTAR PUSTAKA.....	98
BAB 5 STOK KARBON DALAM EKOSISTEM PERAIRAN.....	101
5.1 Pendahuluan	101
5.2 Jenis Ekosistem Perairan sebagai Stok Karbon.....	106
5.3 Dampak Hilangnya Stok Karbon Perairan	113
5.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Penyimpanan Karbon Perairan	115
5.5 Upaya Pelestarian dan Pemulihan Stok Karbon Perairan	115
DAFTAR PUSTAKA	117
BAB 6 PENERAPAN MODEL KONSERVASI UNTUK PELESTARIAN EKOLOGI AKUATIK	119
6.1 Pendahuluan	119
6.2 Model Kawasan Konservasi	123
6.3 Tantangan Dan Kajian Masa Depan	133
6.4 Penutup.....	135
DAFTAR PUSTAKA	137
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. A) Osmoregulasi pada Ikan Air Tawar B) Osmoregulasi pada Ikan Air Laut.....	8
Gambar 1. 2. Bentuk adaptasi ekomorfologi ikan di areal Geopark Merangin (a) <i>Sucker</i> pada bibir atas; (b) Perut flat; (c) <i>Sucker</i> bibir bawah; (d) <i>body</i> <i>streamline</i> . Sumber: Sukmono <i>et al.</i> , 2022	9
Gambar 3. 1. Ikan lele dumbo dan ikan lele albino	51
Gambar 3. 2. Ikan Patin Pustina (Balai Perikanan Budidaya Air Tawar Jambi).....	53
Gambar 3. 3. Siklus Rantai Makanan dalam Perairan Laut.....	56
Gambar 3. 4. Beberapa Genus Fitoplankton Air Tawar a. <i>Spyrogyra</i> b. <i>Closterium</i> c. <i>Micrasterias</i> d. <i>Stephanodiscus</i> e. <i>Melosira</i> f. <i>Surirella</i>	58
Gambar 3. 5. Beberapa Genus Zooplankton Air Tawar a. <i>Daphnia</i> b. <i>Chydorus</i> c. <i>Keratela aculea</i> d. <i>Copepod</i> e. <i>Euchaeta</i> f. <i>diaphanosoma</i>	59
Gambar 3. 6. Nekton jenis moluska kelas cephalophoda	60
Gambar 3. 7. Jenis makrozobentos <i>Cerithidea cingulata</i>	61
Gambar 3. 8. <i>Tarebia granifera</i>	62
Gambar 5. 1. Ekosistem karbon biru (atas ke bawah): mangrove, rawa pasang surut, dan padang lamun.....	103
Gambar 5. 2. Jasa ekosistem yang disediakan oleh mangrove	109
Gambar 5. 3. Manfaat melindungi satu hektar hutan mangrove.....	111
Gambar 6. 1. Kategori Kawasan Konservasi (Permen KP No. 31 Tahun 2020).....	132
Gambar 6. 2. Perkembangan luas (hektar) Kawasan Konservasi Perairan Indonesia (KKP, 2023).....	133

BAB 1

EKOLOGI AKUATIK: PENGANTAR DAN RUANG LINGKUPNYA

Oleh Annisa Bias Cahyanurani

1.1 Pengertian Ekologi Akuatik

Ekologi akuatik merupakan salah satu cabang ilmu ekologi yang mempelajari hubungan timbal balik antara organisme dengan lingkungannya dalam ekosistem perairan. Ekosistem akuatik mencakup lingkungan perairan, baik air tawar seperti danau dan sungai, maupun air asin seperti laut dan samudera (Dobson, 2008). Pemahaman tentang ekologi akuatik menjadi sangat penting mengingat hampir tiga perempat dari permukaan bumi terdiri dari perairan, selain itu kehidupan di air memegang peranan yang krusial dalam menjaga keseimbangan ekosistem global.

Studi tentang ekologi akuatik telah berkembang pesat seiring dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya melindungi sumber daya air, baik dari perspektif ekologi maupun ekonomi. Dalam konteks ini, ekosistem perairan berperan sebagai habitat bagi berbagai organisme dan sumber utama bagi kebutuhan manusia, seperti air minum, irigasi, dan industri perikanan. Ekosistem akuatik juga memiliki peranan penting seperti pemurnian air, penyangga banjir, dan penyediaan habitat bagi satwa liar (Jiang *et al.*, 2018). Ekosistem bertindak sebagai bioreaktor,

memfasilitasi transformasi kimia dan mendegradasi polutan (Ostroumov, 2004). Namun, eksploitasi dan degradasi ekosistem akuatik akibat aktivitas manusia menjadi tantangan besar yang dihadapi para peneliti ekologi. Ancaman seperti perubahan iklim, polusi, dan spesies invasif, sehingga memerlukan upaya konservasi yang mendesak untuk melindungi sumber daya vital ini (Athosra *et al.*, 2022; Jiang *et al.*, 2018).

Ekologi akuatik tidak hanya terbatas pada studi terkait organisme, tetapi juga melibatkan pemahaman tentang interaksi antara faktor biotik dan abiotik yang membentuk ekosistem perairan. Misalnya, interaksi antara organisme yang hidup di air, seperti ikan dan mikroorganisme, dengan faktor abiotik seperti suhu, salinitas, dan oksigen terlarut. Keanekaragaman kehidupan akuatik, dari hidrofit hingga mikroorganisme, menunjukkan berbagai adaptasi terhadap lingkungan air. Organisme-organisme ini penting untuk menjaga keseimbangan ekologi dan mendukung jaring-jaring makanan (Psenner *et al.*, 2008).

1.2 Klasifikasi Ekosistem Perairan

Ekosistem akuatik dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis air yang mendominasinya. Secara umum, terdapat dua kategori utama: ekosistem air tawar dan ekosistem laut.

1.2.1 Ekosistem Air Tawar

Ekosistem air tawar meliputi lingkungan perairan yang rendah kadar garamnya, seperti danau, sungai, rawa, dan kolam. Ekosistem ini memiliki keanekaragaman hayati yang sangat tinggi, meskipun kadang-kadang ruang

lingkupnya lebih kecil dibandingkan dengan ekosistem laut. Air tawar merupakan sumber utama bagi kehidupan manusia, termasuk untuk air minum, irigasi pertanian, dan kebutuhan industri.

Dinamika nutrisi yang digerakkan oleh konsumen memainkan peran penting dalam ekosistem air tawar, di mana interaksi spesies memengaruhi siklus nutrisi dan proses ekosistem. Variabilitas dalam dinamika ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti komposisi spesies dan kondisi abiotik. Di dalam ekosistem ini, produsen utama biasanya adalah fitoplankton dan makrofita, sementara konsumen meliputi zooplankton, ikan, amfibi, dan burung air. Dinamika dalam ekosistem air tawar sangat dipengaruhi oleh perubahan fisik seperti suhu, curah hujan, dan aliran air (Atkinson *et al.*, 2017; De Meester & Pantel, 2014). Oleh karena itu, ekosistem ini rentan terhadap dampak perubahan iklim dan aktivitas manusia seperti polusi air dan penggundulan hutan di sekitar daerah tangkapan air.

1.2.2 Ekosistem Laut dan Pesisir

Ekosistem laut dan pesisir mencakup lingkungan dengan kadar garam tinggi, seperti laut, samudera, terumbu karang, dan hutan mangrove. Ekosistem ini merupakan ekosistem terbesar di bumi dan berperan sebagai penyeimbang dalam siklus biogeokimia global, termasuk siklus karbon dan siklus oksigen.

Terumbu karang, sebagai salah satu ekosistem laut, merupakan rumah bagi ribuan spesies yang saling berinteraksi secara kompleks. Ekosistem terumbu karang memainkan peran penting dalam menjaga stabilitas pantai dengan bertindak sebagai pemecah gelombang dan mencegah abrasi. Secara ekonomi, terumbu karang

memberikan manfaat besar, seperti mendukung pariwisata, menjadi sumber makanan bagi organisme laut, menyediakan lapangan kerja, dan menjadi bahan baku bagi berbagai industri. Ekosistem ini juga mendukung kegiatan ekonomi masyarakat pesisir, terutama penangkapan ikan untuk kebutuhan sehari-hari atau dipasarkan. Di beberapa lokasi, terumbu karang dimanfaatkan sebagai tujuan wisata, seperti untuk kegiatan menyelam dan snorkeling (Rupilu, 2022). Meskipun ekosistem ini sangat produktif, mereka juga sangat rentan terhadap perubahan suhu air, peningkatan kadar karbon dioksida, serta kegiatan perikanan yang merusak seperti penggunaan bahan peledak (Laranisa, 2016; Westmacott *et al.*, 2000)

Mangrove dan padang lamun di wilayah pesisir juga memiliki fungsi ekologis penting dalam melindungi garis pantai dari erosi, mendukung biodiversitas, dan berperan sebagai habitat pembesaran bagi banyak spesies laut. Kedua ekosistem ini memiliki peranan penting dalam menjaga kestabilan ekosistem laut, diantaranya sebagai media filtrasi yang menjernihkan perairan laut dangkal dengan menyaring partikel debu di permukaan air, berperan dalam mitigasi dan adaptasi perubahan iklim (Hutomo & Azkab, 1987; Jalaludin *et al.*, 2020; Purnobasuki, 2006; Sari *et al.*, 2021).

1.2.3 Ekosistem Perairan Payau

Ekosistem perairan payau, seperti estuari dan delta, merupakan pertemuan antara air tawar dan air laut. Estuari adalah bagian dari sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut. Pengaruh pasang surut terhadap sirkulasi aliran seperti kecepatan atau debit, profil muka air dan intrusi air asin di estuari dapat sampai jauh ke hulu sungai, yang tergantung pada tinggi pasang surut, debit sungai dan karakteristik estuari seperti tampang aliran, kekasaran

dinding dan lain sebagainya. Dalam keadaan tertentu air tawar dari hulu tidak langsung bercampur dengan air laut akibat berat jenis yang berbeda. Air asin dengan berat jenis lebih besar cenderung berada di bawah air tawar (Prakoso *et al.*, 2016). Di daerah ini, keanekaragaman hayati sangat tinggi karena merupakan wilayah penting bagi spesies-spesies migrasi serta area perkembangbiakan banyak organisme. Ekosistem ini juga sering kali menjadi tempat penting untuk aktivitas manusia, seperti penangkapan ikan dan transportasi.

1.3 Komponen Ekosistem Akuatik

Setiap ekosistem akuatik terdiri dari dua komponen utama: komponen biotik (makhluk hidup) dan komponen abiotik (faktor lingkungan non-hidup). Interaksi antara kedua komponen ini membentuk dasar dinamika ekosistem dan proses ekologis yang terjadi di dalamnya.

1.3.1 Komponen Biotik

Komponen biotik dalam ekosistem akuatik meliputi semua organisme hidup yang berinteraksi satu sama lain dalam ekosistem tersebut. Berdasarkan fungsinya, komponen biotik dapat dibagi menjadi tiga kelompok utama:

- **Produsen:** Organisme yang mampu membuat makanan sendiri melalui fotosintesis atau kemosintesis. Di ekosistem perairan, fitoplankton adalah produsen utama yang menyediakan energi bagi konsumen lainnya.
- **Konsumen:** Organisme yang bergantung pada produsen atau organisme lain sebagai sumber makanan. Ini termasuk zooplankton, ikan, dan mamalia

laut, yang memakan fitoplankton dan organisme lainnya.

- **Predator:** Konsumen tingkat tinggi yang berburu dan memakan organisme lain. Contoh predator air termasuk ikan predator, burung laut, dan beberapa spesies mamalia laut seperti paus pembunuh.

1.3.2 Komponen Abiotik

Komponen abiotik adalah elemen-elemen non-hidup yang membentuk lingkungan fisik ekosistem akuatik. Elemen-elemen ini meliputi:

- **Air:** Sebagai medium utama bagi kehidupan di ekosistem akuatik, air mempengaruhi distribusi organisme serta proses ekologis seperti siklus nutrisi dan aliran energi.
- **Cahaya Matahari:** Cahaya sangat penting bagi fotosintesis yang dilakukan oleh fitoplankton. Namun, karena sifat air yang menghalangi penetrasi cahaya, intensitas cahaya menurun seiring kedalaman, sehingga fotosintesis terbatas pada zona epipelagik.
- **Suhu:** Di ekosistem perairan, suhu lebih stabil dibandingkan daratan karena air memiliki kapasitas panas yang tinggi. Perubahan suhu yang drastis lebih jarang terjadi, dan organisme akuatik telah beradaptasi untuk hidup dalam kisaran suhu yang sempit.
- **Salinitas:** Kandungan garam dalam air mempengaruhi komposisi spesies dalam ekosistem akuatik. Ekosistem air tawar dan air laut memiliki perbedaan salinitas yang signifikan, yang menciptakan lingkungan dengan keanekaragaman organisme yang berbeda.

1.4 Dinamika Energi dalam Ekosistem Perairan

Dalam ekosistem perairan, aliran energi dimulai dari produsen primer, yaitu fitoplankton yang menggunakan energi matahari untuk fotosintesis. Energi yang tersimpan dalam fitoplankton kemudian dimanfaatkan oleh konsumen primer, seperti zooplankton, yang memakan fitoplankton. Rantai makanan terus berlanjut dengan konsumen sekunder, seperti ikan kecil, yang memakan zooplankton, dan konsumen tersier, seperti ikan predator, yang memakan ikan kecil.

1.5 Adaptasi Makhluk Hidup di Ekosistem Perairan

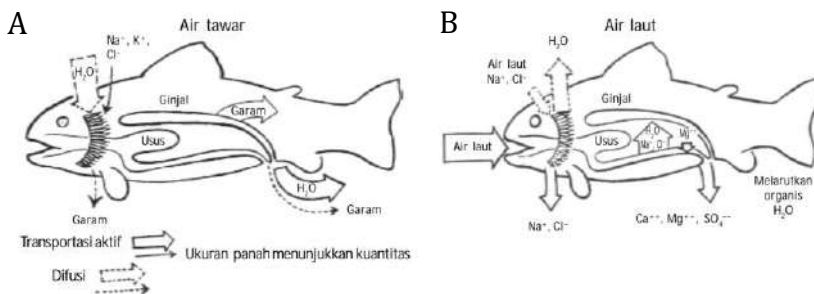
Organisme yang hidup di ekosistem perairan memiliki berbagai adaptasi khusus yang memungkinkan mereka untuk bertahan dalam kondisi lingkungan yang unik. Adaptasi ini dapat berupa adaptasi fisiologis, morfologis, maupun perilaku.

1.5.1 Adaptasi Fisiologis

Adaptasi fisiologis melibatkan perubahan pada fungsi tubuh organisme yang memungkinkan mereka untuk hidup dalam air. Misalnya, ikan memiliki insang yang mampu menyerap oksigen terlarut dalam air. Selain itu, banyak organisme akuatik, seperti ikan laut, telah mengembangkan mekanisme osmoregulasi untuk menjaga keseimbangan garam di dalam tubuh mereka meskipun hidup di lingkungan dengan kadar garam tinggi.

Perbedaan osmoregulasi pada ikan air tawar dan ikan air laut terletak pada cara mereka mengelola keseimbangan air dan garam dalam tubuh mereka, yang disebabkan oleh

perbedaan tekanan osmotik antara tubuh ikan dan lingkungan sekitarnya. Ikan air tawar memiliki tekanan osmotik yang lebih tinggi dibandingkan dengan lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu, air secara terus-menerus masuk ke dalam tubuh ikan melalui insang dan kulit melalui proses osmosis. Untuk mengatasi hal ini, ikan air tawar tidak banyak minum air dan memproduksi urin yang encer untuk mengeluarkan kelebihan air dari tubuhnya. Mereka juga menyerap garam dari lingkungan melalui insang untuk menjaga keseimbangan garam dalam tubuh. Sebaliknya, ikan air laut memiliki tekanan osmotik yang lebih rendah dibandingkan dengan lingkungan air laut yang memiliki salinitas tinggi. Ini menyebabkan air cenderung keluar dari tubuh ikan. Untuk mengatasi kehilangan air, ikan air laut harus minum air laut dan mengeluarkan garam yang berlebih melalui insang. Mereka menyerap ion-ion garam seperti Na^+ , K^+ , dan Cl^- dari air laut dan mengeluarkan kelebihan garam melalui sel-sel khusus di insang. Secara umum, ikan air tawar berfokus pada mempertahankan garam dalam tubuh, sedangkan ikan air laut berfokus pada mengeluarkan kelebihan garam dan mempertahankan air (Pamungkas, 2012).

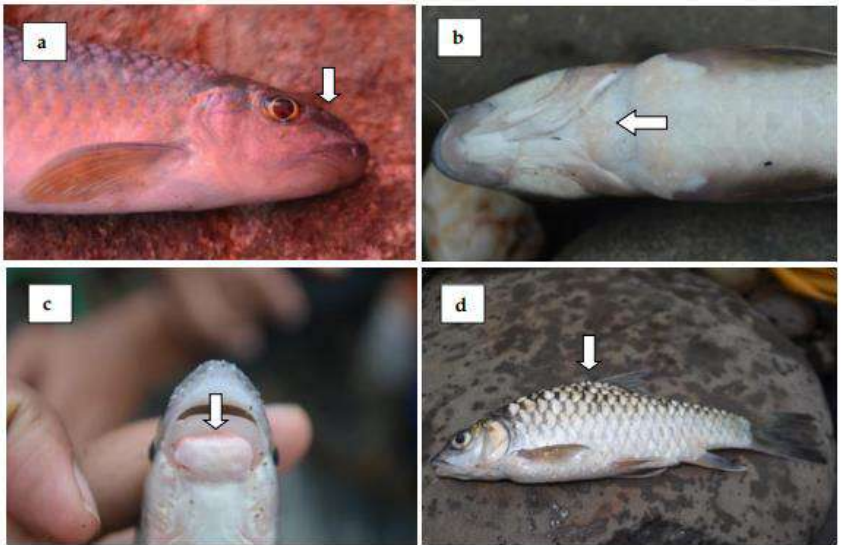


Gambar 1. 1. A) Osmoregulasi pada Ikan Air Tawar B) Osmoregulasi pada Ikan Air Laut.

Sumber: Fujaya (1999) dalam Pamungkas (2012)

1.5.2 Adaptasi Morfologis

Adaptasi morfologis berkaitan dengan bentuk fisik organisme yang memfasilitasi kehidupan mereka di air. Misalnya, ikan memiliki bentuk tubuh yang *streamline* atau torpedo, yang meminimalkan hambatan saat berenang. Tubuh mereka juga dilengkapi dengan sirip yang berfungsi untuk manuver dan keseimbangan di dalam air. Penelitian yang dilakukan pada kawasan Geopark Merangin di Sungai Batang Merangin dengan karakteristik arus yang deras dan berbatu menunjukkan ikan yang hidup disana memiliki karakter seperti adanya sucker (alat penempel pada batu, ikan perenang cepat dan mampu bersembunyi di pasir (Sukmono *et al.*, 2022).



Gambar 1. 2. Bentuk adaptasi ekomorfologi ikan di areal Geopark Merangain (a) *Sucker* pada bibir atas; (b) Perut flat; (c) *Sucker* bibir bawah; (d) *body streamline*. Sumber: Sukmono *et al.*, 2022

Fitoplankton, yang merupakan produsen utama di ekosistem perairan, juga memiliki adaptasi morfologis. Banyak dari mereka memiliki struktur khusus seperti flagela atau silia yang membantu mereka tetap mengapung di kolom air, dekat dengan sumber cahaya untuk fotosintesis.

1.5.3 Adaptasi Perilaku

Adaptasi perilaku sering kali terlihat dalam cara makhluk hidup berinteraksi dengan lingkungannya. Banyak hewan air, seperti ikan dan paus, bermigrasi dari satu habitat ke habitat lain untuk mencari makanan atau tempat berkembang biak. Ikan salmon, misalnya, bermigrasi dari laut ke air tawar untuk bertelur, sementara ikan sidat memiliki daur hidup dimana fase pertumbuhan hidupnya berada di air tawar dan akan melakukan migrasi ke perairan laut untuk melakukan reproduksi guna melestarikan keturunannya (Lestari *et al.*, 2017).

Selain migrasi, beberapa organisme akuatik memiliki perilaku unik dalam mencari makanan atau menghindari predator. Contohnya, beberapa spesies ikan akan berkumpul dalam kawanan besar untuk mengurangi risiko dimangsa oleh predator.

1.6 Interaksi Ekosistem Akuatik dengan Ekosistem Lain

Ekosistem akuatik tidak berdiri sendiri. Ada interaksi yang dinamis antara ekosistem perairan dan ekosistem terestrial (darat). Banyak proses ekologis yang terjadi di ekosistem akuatik memiliki dampak langsung atau tidak langsung terhadap ekosistem lain.

1.6.1 Hubungan Ekosistem Perairan dan Darat

Ekosistem perairan sering kali dipengaruhi oleh aktivitas yang terjadi di ekosistem darat. Daerah aliran sungai (DAS) adalah salah satu contoh di mana ekosistem darat dan perairan saling terkait. Air hujan yang mengalir melalui tanah membawa nutrisi, sedimen, dan bahan organik dari ekosistem darat ke sungai, danau, atau laut. Proses ini berperan penting dalam siklus nutrisi dan pembentukan habitat di ekosistem perairan.

Namun, aktivitas manusia di ekosistem darat, seperti deforestasi, urbanisasi, dan pertanian, dapat menyebabkan dampak negatif pada ekosistem perairan. Erosi tanah yang diakibatkan oleh penggundulan hutan, misalnya, dapat menyebabkan sedimentasi berlebih di perairan, yang mengganggu produktivitas primer dan mengancam kelangsungan hidup spesies akuatik.

1.6.2 Siklus Biogeokimia dalam Ekosistem Akuatik

Siklus biogeokimia adalah proses di mana unsur-unsur kimia bergerak melalui komponen biotik dan abiotik ekosistem. Ekosistem perairan berperan penting dalam siklus biogeokimia global, termasuk siklus karbon, nitrogen, dan fosfor.

Dalam siklus karbon, ekosistem laut berfungsi sebagai penyerap karbon (*carbon sink*) yang sangat besar. Fitoplankton menggunakan karbon dioksida (CO_2) dalam fotosintesis, yang mengurangi jumlah CO_2 di atmosfer dan berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim. Selain itu, karbon yang terperangkap di dalam tubuh organisme akuatik akan terkubur dalam sedimen dasar laut setelah mereka mati, menyimpan karbon untuk jangka waktu yang sangat lama.

Siklus nitrogen dan fosfor juga memainkan peran kunci dalam ekosistem perairan. Nitrogen yang terlarut dalam air, dalam bentuk nitrat (NO_3^-) atau amonia (NH_3), digunakan oleh fitoplankton dan tumbuhan air untuk pertumbuhan. Namun, kelebihan nitrogen akibat polusi dari limbah pertanian dapat menyebabkan eutrofikasi, yaitu ledakan populasi alga yang dapat merusak ekosistem.

1.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Ekosistem Perairan

Ekosistem akuatik dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan yang menentukan kelangsungan hidup organisme di dalamnya. Faktor-faktor ini meliputi kondisi fisik, kimia, dan biologis dari ekosistem tersebut.

1.7.1 Faktor Fisik

Faktor fisik yang mempengaruhi ekosistem perairan antara lain cahaya, suhu, dan arus air. Cahaya merupakan faktor penting dalam ekosistem akuatik karena berpengaruh langsung pada produktivitas primer. Penetrasi cahaya di perairan bergantung pada kedalaman dan kejernihan air. Di zona eufotik, di mana cahaya matahari masih cukup, fotosintesis dapat terjadi. Namun, di zona afotik, fotosintesis terbatas dan organisme bergantung pada aliran energi dari lapisan atas atau melalui proses kemosintesis (Irianto, 2016).

Suhu air juga mempengaruhi distribusi dan aktivitas organisme di ekosistem perairan. Sebagian besar organisme akuatik bersifat poikilotherm atau berdarah dingin, yang berarti suhu tubuh mereka bergantung pada suhu

lingkungan. Oleh karena itu, perubahan suhu akibat pemanasan global atau aktivitas manusia dapat memengaruhi metabolisme dan reproduksi organisme akuatik.

Arus air adalah faktor penting yang memengaruhi distribusi nutrisi, oksigen, dan organisme. Arus yang kuat dapat membawa nutrisi ke wilayah yang lebih luas, sedangkan di zona yang lebih tenang, sedimen dan bahan organik dapat mengendap, menciptakan habitat yang kaya akan makanan.

1.7.2 Faktor Kimia

Faktor kimia yang mempengaruhi ekosistem perairan meliputi oksigen terlarut, pH, salinitas, dan nutrisi. Oksigen terlarut sangat penting untuk respirasi organisme akuatik. Kadar oksigen dalam air bergantung pada suhu, arus, dan aktivitas fotosintesis. Jika kadar oksigen terlalu rendah, seperti yang terjadi pada kondisi hipoksia atau anoksia, banyak spesies akuatik yang akan kesulitan bertahan hidup (Rositasari, 2020).

Salinitas memengaruhi distribusi organisme di ekosistem air laut dan estuari. Organisme di laut terbiasa hidup di lingkungan dengan kadar garam yang tinggi, sementara organisme di air tawar tidak mampu bertahan dalam kondisi salinitas tinggi (Sains *et al.*, 2003).

Nutrien seperti nitrogen, fosfor, dan kalium penting bagi pertumbuhan fitoplankton dan tumbuhan air. Namun, kelebihan nutrisi dapat menyebabkan masalah eutrofikasi, yang mengarah pada penurunan kualitas air dan kehilangan keanekaragaman hayati (Irianto *et al.*, 2012; Siahaan *et al.*, 2016)

1.7.3 Faktor Biologis

Faktor biologis dalam ekosistem akuatik meliputi predasi, kompetisi, dan simbiosis. Interaksi ini memengaruhi struktur komunitas dan dinamika populasi organisme di dalam ekosistem.

Predasi adalah hubungan antara pemangsa dan mangsa yang mengendalikan populasi spesies dalam ekosistem. Dalam rantai makanan akuatik, predator seperti ikan besar dan burung air mengendalikan populasi konsumen primer dan sekunder (Zahra, 2020). Selain predasi, kompetisi antar spesies untuk sumber daya seperti makanan, ruang, dan oksigen juga membentuk dinamika ekosistem.

Simbiosis merupakan bentuk interaksi antara dua organisme yang hidup berdekatan dan biasanya terjalin hubungan yang saling menguntungkan, meskipun tidak selalu. Salah satu contoh dari simbiosis di ekosistem akuatik adalah hubungan antara ikan badut dan anemon laut. Anemon memberikan perlindungan bagi ikan badut dari predator, sementara ikan badut memberikan makanan dalam bentuk sisa-sisa makanan dan membantu melindungi anemon dari parasit (Farianti *et al.*, 2015).

Selain itu, dalam ekosistem perairan, terdapat interaksi parasitisme di mana satu organisme (parasit) mengambil keuntungan dari organisme lain (inang) dengan cara yang merugikan inangnya. Contohnya adalah beberapa jenis parasit seperti *Trichodina* sp, *Dactylogyrus* spp. yang menempel pada tubuh ikan serta mengambil nutrisi dari inangnya dan dapat menyebabkan kerusakan atau kematian pada inang (Yuliani *et al.*, 2023).

1.8 Dampak Aktivitas Manusia terhadap Ekosistem Perairan

Aktivitas manusia memiliki pengaruh besar terhadap kondisi ekosistem perairan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Banyak aktivitas ini, meskipun memberikan manfaat ekonomi, sering kali mengakibatkan degradasi ekosistem dan kehilangan keanekaragaman hayati.

1.8.1 Polusi Air

Polusi air adalah salah satu ancaman terbesar bagi ekosistem perairan. Limbah industri, pertanian, dan domestik sering kali mengandung bahan kimia berbahaya yang, ketika dibuang ke sungai, danau, atau laut, dapat mencemari air dan membahayakan organisme yang hidup di dalamnya. Eutrofikasi, yang disebabkan oleh limpasan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor dari pupuk pertanian, menyebabkan ledakan alga yang menghabiskan oksigen di air, menghasilkan kondisi hipoksia yang mematikan bagi banyak spesies.

Selain itu, pencemaran logam berat seperti merkuri dan timbal dapat terakumulasi dalam rantai makanan, mengancam kesehatan ikan dan predator puncak, termasuk manusia yang mengonsumsi ikan tersebut (Hananingtyas, 2017).

1.8.2 Penangkapan Berlebih (*Overfishing*)

Penangkapan ikan yang berlebihan adalah ancaman besar bagi keberlanjutan populasi ikan di laut dan perairan tawar. Ketika jumlah ikan yang ditangkap melebihi kapasitas reproduksi alami mereka, populasi ikan bisa runtuh. Selain itu, metode penangkapan yang merusak, seperti *trawl* dan jaring pukat, tidak hanya menangkap spesies target, tetapi

juga mengancam kehidupan organisme lain serta merusak habitat dasar laut (Siregar *et al.*, 2023)

1.8.3 Perubahan Iklim

Perubahan iklim juga memengaruhi ekosistem perairan melalui peningkatan suhu air, kenaikan permukaan air laut, dan perubahan pola arus laut. Kenaikan suhu air dapat mengubah distribusi spesies, mengurangi produktivitas primer, dan menyebabkan pemutihan karang di ekosistem terumbu karang (Al, 2016; Sinaga & Yusril, 2021.)

Selain itu, pengasaman laut akibat peningkatan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer menyebabkan penurunan pH air laut, yang berdampak pada organisme yang bergantung pada kalsium karbonat untuk membentuk cangkang dan kerangka, seperti moluska (Wibowo, 2019).

1.8.4 Konversi Lahan dan Hilangnya Habitat

Pembangunan pesisir, konversi lahan mangrove menjadi tambak, dan reklamasi lahan menyebabkan hilangnya habitat penting bagi banyak spesies akuatik. Mangrove, misalnya, merupakan habitat penting bagi banyak spesies ikan dan udang, serta berfungsi sebagai penahan gelombang dan penyerap karbon. Kehilangannya dapat mengakibatkan penurunan keanekaragaman hayati dan meningkatnya kerentanan pesisir terhadap erosi dan badai (Harefa *et al.*, 2023).

1.9 Konservasi Ekosistem Perairan

Melihat dampak signifikan yang ditimbulkan oleh aktivitas manusia, konservasi ekosistem perairan menjadi sangat penting untuk memastikan keberlanjutan ekosistem ini dan spesies-spesies yang ada di dalamnya.

1.9.1 Kawasan Konservasi Laut

Salah satu strategi konservasi yang paling efektif adalah penetapan kawasan konservasi laut (*Marine Protected Areas*, MPA). Kawasan-kawasan ini dibatasi untuk melindungi spesies yang terancam dan habitat penting dari aktivitas manusia yang merusak. Dalam kawasan konservasi, penangkapan ikan, penambangan, dan aktivitas industri lainnya dibatasi atau dilarang sepenuhnya, memberikan kesempatan bagi populasi spesies untuk pulih dan ekosistem untuk berfungsi dengan lebih baik (Rizki, 2024).

1.9.2 Restorasi Habitat

Restorasi habitat melibatkan upaya untuk memulihkan ekosistem perairan yang rusak, seperti terumbu karang, hutan mangrove, dan lahan basah. Program restorasi ini sering kali melibatkan penanaman kembali tumbuhan asli, pengaturan ulang pola aliran air, dan pengurangan polusi. Restorasi ekosistem perairan tidak hanya memberikan manfaat bagi keanekaragaman hayati, tetapi juga membantu menjaga layanan ekosistem penting yang bermanfaat bagi manusia, seperti penyediaan ikan, perlindungan pesisir, dan penyerapan karbon (Rahmah *et al.*, 2023).

1.9.3 Pendidikan dan Kesadaran Publik

Kesadaran publik tentang pentingnya ekosistem perairan dan ancaman yang dihadapinya sangat penting dalam upaya konservasi. Melalui program pendidikan dan kampanye lingkungan, masyarakat dapat didorong untuk mengambil tindakan yang lebih bertanggung jawab, seperti mengurangi penggunaan plastik sekali pakai, mendukung produk perikanan yang berkelanjutan, dan berpartisipasi dalam kegiatan restorasi ekosistem (Sucihadi & Sayatman, 2021; Therik & Lino, 2021).

DAFTAR PUSTAKA

- Al, A. (2016). Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Terumbu Karang: Antara Dampak dan Perannya Dalam Siklus Karbon. *Marine Journal*, 2(1), 1–13.
- Athosra, A., Razak, A., Kamal, E., & Berd, I. (2022). Review of Aquatic Ecology Problems. *Science and Environmental Journal for Postgraduate*, 5(1), 40–45.
- Atkinson, C. L., Capps, K. A., Rugenski, A. T., & Vanni, M. J. (2017). Consumer-driven nutrient dynamics in freshwater ecosystems: From individuals to ecosystems. *Biological Reviews*, 92(4), 2003–2023. <https://doi.org/10.1111/brv.12318>
- De Meester, L., & Pantel, J. (2014). Eco-evolutionary dynamics in freshwater systems. *Journal of Limnology*, 73(s1): 193–200. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2014.831>.
- Dobson, M. (2008). *Ecology of Aquatic Systems*. Oxford university Press Inc.
- Farianti, L., Irawan, H., & Pratomo, A. (2015). Pola Hubungan Antara Jenis Anemon Dengan Ikan Badut (Amphiprioninae) Di Perairan Daerah Pulau Pucung Kabupaten Bintan Provinsi Kepulauan Riau. *Repository UMRAH*.
- Hananingtyas, I. (2017). Studi pencemaran kandungan logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada ikan tongkol (*Euthynnus* sp.) di Pantai Utara Jawa. *Biotropic: The Journal of Tropical Biology*, 1(2), 41–50.

- Harefa, M. S., Butar-Butar, E. L., Tampubolon, F., & Tambunan, G. (2023). Analisis Kerusakan Dan Dampak Yang Ditimbulkan Bagi Lingkungan: Analisis Kerusakan Dan Dampak Yang Ditimbulkan Bagi Lingkungan Pantai Mangrove Paluh Merbau. *Journal of Laguna Geography*, 2(1), 1-8.
- Hutomo, M., & Azkab, M. H. (1987). Peranan lamun di lingkungan laut dangkal. *Oseana*, 21(1), 13-23.
- Irianto, Ek. W., Triweko, R. W., & Yudianto, D. (2012). *Estimasi Dinamik Jangka Panjang Terhadap Kualitas Air Untuk Pengendalian Eutrofikasi Pada Waduk Jatiluhur*. <https://repository.unpar.ac.id/handle/123456789/2968>
- Irianto, I. K. (2016). *Ilmu Lingkungan*. PT Percetakan Bali. <https://repository.warmadewa.ac.id/id/eprint/348/>
- Jalaludin, M., Octaviyani, I. N., Putri, A. N. P., Octaviyani, W., & Aldiansyah, I. (2020). Padang lamun sebagai ekosistem penunjang kehidupan biota laut di Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu, Indonesia. *Jurnal Geografi Gea*, 20(1), 44-53.
- Jiang, L., Nanding, N., Wu, H., Huang, Z., & Huang, Z. (2018). Coupled Streamflow and Temperature Modeling for Aquatic Ecosystem Studies. *Oceanography & Fisheries Open Access Journal*, 7(1), 11-14.
- Laranisa, S. U. (2016). Struktur Terumbu Karang Di Pantai S Indangkerta Kecamatan Cipatujah Kabupaten Tasikmalaya, Jawa Barat [PhD Thesis, FKIP UNPAS]. <http://repository.unpas.ac.id/11670>
- Lestari, S. N., Rachmawati, F. N., & Susilo, U. (2017). Perubahan Kadar Protein Dan Status Lipostatik Ikan Sidat, *Anguilla Bicolor*, *Stadia Silver* Yang Dipelihara Pada Salinitas Yang Berbeda. *Scripta Biologica*, 4(1), 41-45.

- Ostroumov, S. A. (2004). Aquatic ecosystem as a bioreactor: Water purification and some other functions. *Rivista Di Biologia/Biology Forum*, 97(1), 67–78. <https://s.econf.rae.ru/pdf/2012/08/1549.pdf>
- Pamungkas, W. (2012). Aktivitas osmoregulasi, respons pertumbuhan, dan energetic cost pada ikan yang dipelihara dalam lingkungan bersalinitas. *Media Akuakultur*, 7(1), 44–51.
- Prakoso, F. D., Suntoyo, S. T., & Wahyudi, I. (2016). Study The Distribution Pattern Of Salinity, Temperature, And Current In Estuary River Wonokromo Surabaya. Retrieved September 20, 2024, from <https://repository.its.ac.id/51333/1/4311100106-Undergraduate%20Thesis.pdf>
- Psenner, R., Alfreider, A., & Schwarz, A. (2008). Aquatic Microbial Ecology: Water Desert, Microcosm, Ecosystem. What's Next? *International Review of Hydrobiology*, 93(4–5), 606–623. <https://doi.org/10.1002/iroh.200711044>
- Purnobasuki, H. (2006). Peranan Mangrove Dalam Mitigasi Perubahan Iklim. *Buletin PSL Universitas Surabaya*, 18, 9–10.
- Rahmah, M. H., Ariandi, Nurdin, G. M., Firdaus, & Irfan, M. (2023). Restorasi Ekosistem Mangrove di Taman Wisata Bahari Gonda Polewali Mandar. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa*, 1(4), Article 4. <https://doi.org/10.59837/jpmba.v1i4.57>
- Rizki, A. (2024). Pengelolaan Marine Protected Area. *Journal of Oceanography and Aquatic Science*, 2(1), Article 1. <https://doi.org/10.56855/joane.v2i1.964>
- Rositasari, R. (2020). Ancaman hipoksia bagi ekosistem pesisir; penggunaan indeks Ammonia-Elphidium (AE) sebagai proksi. *OSEANA*, 45(1), 82–92.

- Rupilu, K. (2022). Peranan Ekosistem Terumbu Karang Dan Upaya Rehabilitasi Di Pulau Meti Kecamatan Tobelo Timur Kabupaten Halmahera Utara. *HIRONO: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(2), 130–139.
- Sains, P. F., Tarumingkeng, I. R. C., & Coto, I. Z. (2003). Kajian Faktor Fisik Yang Mempengaruhi Distribusi Ichthyoplankton (Awal Daur Hidup Ikan). http://www.rudyc.com/PPS702-ipb/07134/a_hafidz_olii.pdf
- Sari, S. N., Nurfaizi, E., Anjeli, Y., & Topano, A. (2021). Peranan Penting Ekosistem Padang Lamun (Seagrass) Dalam Penunjang Kehidupan Dan Perkembangan Biota Laut. *GHAITSA: Islamic Education Journal*, 2(3), 295–303. <https://www.siducat.org/index.php/ghaitsa/article/view/847>
- Siahaan, N., Soeprbowati, T. R., & Purnaweni, H. (2016). *Strategi Pengelolaan Eceng Gondok di Danau Toba Wilayah Kabupaten Samosir* [PhD Thesis, School of Postgraduate]. <http://eprints.undip.ac.id/55956/>
- Sinaga, M., & Yusril, Y. (2021). Dampak Perubahan Iklim Di Pasifik Selatan: Ancaman Naiknya Permukaan Air Laut Terhadap Eksistensi Negara Dan Penduduk Kiribati. *Papua Journal of Diplomacy and International Relations*, 1(1), 29–43.
- Siregar, E. S., Kusumo, R., Ardianti, E., Akbar, R., & Nasution, A. S. (2023). Dampak Kerusakan Lingkungan Laut Akibat Penggunaan Jaring Trawl. *Jurnal Keadilan*, 3(2), 77–89. <https://stihmakisaran.com/ojs/index.php/keadilan/article/download/107/70>

- Sucihadi, R. A., & Sayatman, S. (2021). Perancangan Kampanye Diet Plastik Bagi Remaja dengan Mengangkat Isu Pencemaran Plastik di Laut Indonesia. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 9(2), F149–F155.
- Sukmono, T., Nugraha, A., Ritonga, D. M., & Utomo, P. E. P. (2022). Berarung Jeram: Mengungkap Pesona Fauna Ikan di Geopark Merangin Jambi. *Warta Iktiologi*, 6(2), 34–41.
- Therik, J. J., & Lino, M. M. (2021). Membangun Kesadaran Masyarakat Sebagai Upaya Pelestarian Lingkungan. *Jurnal Administrasi Publik*, 17(1), 89–95.
- Westmacott, S., Teleki, K., Wells, S., & West, J. (2000). *Pengelolaan terumbu karang yang telah memutih dan rusak kritis*. Yayasan Terumbu Karang Indonesia.
- Wibowo, D. F. (2019). Analisis Kemampuan Pelepasan Dan Penyerapan Co2 Atmosfer Dan Laut Di Pesisir Lombok Utara Nusa Tenggara Barat [Sarjana, Universitas Brawijaya].
<https://repository.ub.ac.id/id/eprint/177680/>
- Yuliani, I., Pratiwi, R. H., & Yulistiana. (2023). Analisis Tingkat Serangan Parasit pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) dan Ikan Lele (*Clarias gariepinus*) di Balai Benih Ikan (BBI) Ciganjur. *Biota : Jurnal Ilmiah Ilmu-Hayati*, 68–80.
<https://doi.org/10.24002/biota.v8i1.5502>
- Zahra, A. (2020). *Model matematika rantai makanan tiga spesies dengan persaingan intraspesifik dan pemanenan pada predator* [bachelorThesis, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta].
<https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/52510>

BAB 2

FAKTOR-FAKTOR LINGKUNGAN DAN INTERAKSI ORGANISME DI PERAIRAN

Oleh Angraeni

2.1 Pendahuluan

Hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya membentuk ekosistem (Effendi et al., 2018), jadi kita tahu bahwa ada komponen biotik (hidup) dan abiotik (tidak hidup) dalam suatu ekosistem. Kedua komponen ini berinteraksi dan mempengaruhi satu sama lain, seperti hubungan antara hewan dan sumber air. Pertukaran ini antara makhluk hidup dan mati akan menghasilkan tatanan dan kesatuan. Tiap komponen melakukan fungsinya sendiri, dan asalkan fungsi-fungsi tersebut tidak terganggu, keseimbangan ekosistem akan tetap terjaga.

Interaksi yang saling terhubung antara organisme dan lingkungannya membentuk suatu ekosistem. Ekologi juga dapat didefinisikan sebagai kesatuan lengkap dan menyeluruh antara semua komponen lingkungan hidup yang berinteraksi satu sama lain. gabungan dari setiap komponen biosistem yang melibatkan interaksi antara organisme dan lingkungan fisik, yang menyebabkan aliran

energi ke struktur biotik tertentu dan siklus materi antara organisme dan anorganisme (Mukharomah, 2020).

2.2 Faktor Lingkungan

Bumi kita, yang sebagian besar terdiri dari ekosistem air, sangat memengaruhi lingkungan darat, terutama yang dekat dengannya. Selain itu, ekosistem air memainkan peran penting dalam siklus zat kimia. Kehidupan di dalamnya dan peri kehidupannya sangat berbeda dengan kehidupan di daratan. Karena faktor dasar tersebut, sangat penting bagi kita untuk memahami ekosistem air dan makhluk hidup yang tinggal di dalamnya. Ekosistem akuatik adalah istilah untuk ekosistem ini. Dalam ekosistem, organisme tumbuh dan berkembang bersama-sama dengan lingkungan fisik sebagai sistem, dengan energi matahari sebagai sumber utamanya.

Untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, organisme juga mempengaruhi lingkungan fisiknya untuk menyesuaikan diri. Berdasarkan hipotesis Gaia, pengertian ini didasarkan pada gagasan bahwa organisme, khususnya mikroorganisme, bekerja sama dengan lingkungan fisik mereka untuk membuat sistem kontrol yang memastikan bahwa keadaan Bumi aman untuk kehidupan (Zid & Hardi, 2019). Fenomena ini menunjukkan bahwa komposisi kimia permukaan dan atmosfer Bumi sangat diatur dan berbeda dari planet lain dalam sistem tata surya. Hukum toleransi menentukan keberadaan, kelimpahan, dan penyebaran suatu spesies dalam ekosistem. Hukum toleransi mengacu pada kondisi faktor kimiawi dan fisi yang harus berada dalam rentang yang dapat ditoleransi spesies.

2.2.1 Faktor Biotik

Unsur-unsur biotik dalam sebuah ekosistem terdiri dari berbagai organisme hidup. Komponen biotik ini diklasifikasikan berdasarkan perannya dalam ekosistem (Juwitaningsih, 2018; Tri Edhi Budhi Soesilo, n.d.). Produsen, konsumen, dekomposer, dan detritivora adalah empat kategori utama.

1. **Produsen:** Organisme yang dapat menghasilkan bahan organik dari bahan anorganik. Dengan kata lain, produsen, biasanya tumbuhan hijau, memiliki kemampuan untuk memproduksi makanan mereka sendiri melalui proses fotosintesis.
2. **Konsumen:** Organisme heterotrof yang tidak dapat menghasilkan zat organik sendiri dari zat anorganik, sehingga bergantung pada organisme lain untuk memenuhi kebutuhan makanannya.
3. **Pengurai:** Organisme yang menguraikan bahan organik dari organisme yang mati menjadi senyawa anorganik yang dapat dikembalikan ke lingkungan.
4. **Detritivora:** Organisme yang memakan sisa-sisa organik atau detritus yang berasal dari organisme lain.

2.2.2 Faktor Abiotik

Komponen abiotik adalah elemen fisika dan kimia yang ada di sekitar organisme dan merupakan bagian dari lingkungan ekosistem. Segala sesuatu yang tidak hidup, seperti air, iklim, tanah, dan cahaya matahari, dianggap sebagai faktor abiotik. Komponen-komponen ini membantu menjaga keseimbangan dalam ekosistem.

1. **Air:** Untuk bertahan hidup, semua makhluk hidup membutuhkan air. tidak hanya penting sebagai

sumber minum tetapi juga sebagai habitat bagi berbagai organisme.

2. **Iklim dan Cuaca:** Iklim terbentuk dari faktor-faktor non-hayati, sementara cuaca meliputi aspek seperti suhu, kelembapan, dan curah hujan. Kombinasi faktor-faktor ini mempengaruhi kondisi lingkungan, termasuk kesuburan tanah.
3. **Tanah:** Tanah adalah komponen kunci dalam kehidupan makhluk hidup, berfungsi sebagai tempat berpijak, berkembang biak, dan mencari makanan. Tanah organik mengandung lebih dari 65% bahan organik dan tanah mineral memiliki kandungan bahan organik kurang dari 20%.
4. **Cahaya Matahari:** Proses fotosintesis tumbuhan dibantu oleh cahaya matahari, yang merupakan sumber energi utama bagi kehidupan di Bumi, yang pada akhirnya mempengaruhi struktur dan fungsi ekosistem secara keseluruhan.
5. **Kelembapan**
Tingkat kelembapan udara di ekosistem darat dipengaruhi oleh kandungan air di atmosfer. Kelembapan mutlak (gram/m³), kelembapan spesifik (gram/kg), dan kelembapan relatif (%). Semua makhluk hidup di darat membutuhkan kelembapan udara untuk hidup.
6. **Udara**
Udara adalah elemen krusial bagi kehidupan organisme. Tingkat kecerahan sinar matahari memengaruhi kualitas udara, karena tumbuhan membutuhkan cahaya matahari untuk proses fotosintesis, dan kelembapan udara juga membantu menjaga kondisi lingkungan stabil dan mencegah kekeringan.

2.3 Interaksi Organisme di Perairan

Fitoplankton dan zooplankton, keduanya memainkan peran penting dalam ekosistem perairan. Mereka memberi makan hewan perairan lainnya. Tingkat pencahayaan yang tersedia di perairan atau bagaimana fitoplankton tersebar di

area terang dalam air memengaruhi pembagiannya. Produsen primer, fitoplankton dapat mengubah zat anorganik menjadi zat organik di dalam air (Radiarta, 2013)

Fitoplankton adalah salah satu organisme yang rentan terhadap perubahan ciri-ciri perairan. Tingkat kepekaan fitoplankton adalah cara yang populer untuk mengukur kondisi ekologis perairan. Kehadiran fitoplankton di suatu perairan sangat bergantung pada komposisi dan ketersediaan unsur hara. Kehadiran fitoplankton dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk intensitas cahaya, suhu, kecerahan, tingkat keasaman (pH), dan jumlah gas terlarut. Karenanya, hubungan yang dispekulasikan antara ketersediaan nutrisi dan kondisi lingkungan dikaitkan dengan jumlah dan komposisi fitoplankton yang ada (Putri & Sari, 2015).

2.3.1 Rantai Makanan

Perpindahan energi makanan dari sumber daya tumbuhan melalui seri organisme atau melalui jenjang makan dikenal sebagai rantai makanan (tumbuhan—herbivora—karnivora) (Jalaluddin et al., 2020). Sekitar 80 hingga 90 persen energi potensial hilang dalam bentuk panas pada setiap perpindahan energi dalam rantai makanan. Akibatnya, rantai makanan biasanya terdiri dari empat hingga lima tingkat. Energi yang diperoleh dari bahan organik yang dicerna ditransfer ke organisme berikutnya di setiap tingkat rantai makanan. Setiap tingkatan ini disebut sebagai trofik level. Proses memakan satu sama lain oleh organisme dalam urutan yang sudah ditentukan dikenal sebagai rantai makanan.

Rantai makanan sebenarnya merupakan sistem yang saling terhubung secara kompleks, di mana hubungan antar organisme di dalam suatu komunitas membentuk jejaring yang rumit. Selain itu, Organisme yang berpartisipasi dalam aliran energi dari sumber utama terdiri dari rantai makanan, termasuk fitoplankton dan zooplankton, larva ikan, ikan kecil, ikan besar, dan mamalia. Seiring dengan banyaknya spesies yang ada di seluruh dunia dan lingkungan tempat tinggal mereka, jenis dan variasi rantai makanan sangat beragam. Setelah itu, penganalisisan dilakukan terhadap rantai makanan berdasarkan pemahaman tentang bagaimana rantai makanan tersebut berkembang dan terbentuk secara mekanis.

Fitoplankton, zooplankton, dan infauna benthik adalah tiga komponen utama rantai makanan. Fitoplankton serta zooplankton merupakan elemen kunci dalam rantai makanan karena mereka berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem, sebagaimana dijelaskan oleh (Burhanuddin, 2021). Sementara itu, Di ekosistem pantai berlumpur, infauna benthik memainkan peran penting dalam melengkapi rantai makanan. Fokus diskusi ini adalah hubungan antara rantai makanan dan habitat organisme di pantai berlumpur (*tidal flat*).

1. Fitoplankton

Pertumbuhan fitoplankton di daerah pantai berlumpur dipengaruhi oleh interaksi antara cahaya matahari, curah hujan, nutrisi, dan pergerakan air, serta pertemuan arus laut. Produksi fitoplankton juga dipengaruhi oleh kondisi cuaca tertentu, seperti dinamika air yang memengaruhi tingkat produktivitas primer. Pencampuran vertikal air yang kuat dapat memiliki dampak negatif terhadap produktivitas dengan mengurangi pertumbuhan fitoplankton, namun

pada saat yang sama meningkatkan energi yang dibutuhkan untuk fotosintesis. Meskipun demikian, pencampuran vertikal juga membawa keuntungan karena membantu membawa nutrisi dari lapisan bawah air ke permukaan, di mana fitoplankton dapat mengambil nutrisi tersebut.

2. Zooplankton serta Heterotrof Lainnya

Zooplankton dan organisme heterotrof lainnya, yang merupakan konsumen sekunder dalam rantai makanan, mengisi peran penting sebagai penghubung antara produksi primer fitoplankton dan produktivitas ikan di ekosistem perairan. Dalam konteks teknis, Istilah "zooplankton" digunakan untuk menggambarkan jenis hewan plankton yang hidup di dalam air dan bergantung pada pergerakan arus lingkungannya. Namun, tindakan mereka memungkinkan mereka bergerak secara vertikal di dalam kolam air dan bergerak dari pantai ke laut lepas selama musim semi dan musim panas untuk menemukan tempat terbaik untuk berkembang. Pergerakan vertikal ini terjadi ketika zooplankton naik ke permukaan pada malam hari dan kembali ke lapisan terdalam pada siang hari. Ini adalah proses pembentukan lapisan suara. Migrasi vertikal zooplankton akan terhambat di daerah yang berlumpur karena ombak besar. Selain itu, perpindahan lateral secara musiman menyebabkan percepatan pertumbuhan zooplankton (pengayaan).

3. Infauna serta Epifauna Benthic

Organisme yang hidup di sedimen, dikenal sebagai infauna benthik, dan organisme yang hidup di atas sedimen, dikenal sebagai epifauna benthik, terdiri dari

berbagai taksa termasuk kerang, kepiting, cacing, siput, udang, dan ikan. Adapun burrowers, mereka merupakan hewan yang memakan bangkai, memangsa, dan memperoleh makanan dari phytoplankton, zooplankton, endapan, sisa-sisa organik, serta nutrisi lainnya.

Mereka memiliki peran krusial dalam rantai makanan di ekosistem pantai berlumpur, berfungsi sebagai pengubah yang menghasilkan bahan organik pada tingkat trofik yang lebih tinggi. Hal ini mendukung peningkatan produktivitas satwa liar dan ikan di alam bebas. Sementara itu, beberapa contoh ikan demersal, neretic, dan pemangsa yang hidup di daratan termasuk elasmobranchs (hiu, pari, dan belut laut), ikan datar, dan jenis ikan dasar lainnya. Selain itu, ada juga burung pantai, mamalia laut seperti paus dan berang-berang laut, serta manusia.

2.3.2 Jaring-Jaring Makanan

Karena beragamnya jenis makanan yang dikonsumsi, berbagai jenis rantai makanan membentuk ekosistem. Sistem percabangan yang kompleks terbentuk dari rantai makanan yang saling berhubungan dalam ekosistem. Interaksi antara berbagai rantai makanan di ekosistem membentuk jaring-jaring makanan, karena banyak organisme menjadi mangsa predator. Akibatnya, sebagian besar hubungan dalam jaring-jaring makanan berinteraksi satu sama lain (Jabar et al., 2021). Karena banyak organisme dimakan oleh lebih dari satu predator, sebagian besar hubungan dalam rantai makanan saling terkait satu sama lain.

Laut merupakan komponen utama dari permukaan bumi. Secara umum, tiga puluh persen permukaan bumi terdiri dari daratan, dan tujuh puluh persen sisanya adalah lautan. Dibagi menjadi subbagian tertentu berdasarkan prinsip-prinsip ekologi yang relevan akan membuat pemahaman lebih mudah tentang sumber daya lautan yang besar ini. Secara garis besar, dua wilayah utama terdiri dari ekosistem laut: zona pelagik dan zona benthik (Nybakken, 1992). Zona pelagik adalah area permukaan laut yang masih menerima cahaya matahari, sedangkan zona benthik adalah area dasar laut yang hanya menerima cahaya matahari sebagian atau sama sekali.

Di wilayah pelagik terdapat tiga jenis ekosistem utama yang biasanya ditemukan, yakni ekosistem karang, lamun, dan mangrove. Produktivitas primer yang tinggi terdapat pada ketiga ekosistem ini. Terumbu karang adalah ekosistem dengan tingginya tingkat produktivitas dibandingkan dengan ekosistem alami lainnya di sekitarnya. Terumbu karang memiliki kemampuan untuk menahan dan memproses bahan organik yang masuk ke dalamnya, mirip dengan kolam yang dapat menampung berbagai hal dari lingkungan eksternal (Nybakken, 1992).

Kesuburan ekosistem terumbu karang ditunjukkan oleh akumulasi bahan organik. Bakteri akan menguraikan bahan organik ini, menghasilkan nutrisi anorganik yang dapat digunakan produsen untuk fotosintesis. Karbon organik, nitrogen, dan fosfat adalah contoh nutrisi anorganik. Munculnya keanekaragaman organisme perairan di ekosistem terumbu karang ini kemudian didorong oleh kesuburannya.

Tingkat trofik jaring pangan dapat dibagi menjadi dua kelompok, secara umum. Pertama, ada kelompok produsen

yang dapat mengubah bahan anorganik menjadi karbohidrat dan oksigen, yang diperlukan oleh semua makhluk hidup. Kedua, ada kelompok konsumen yang tidak dapat menghasilkan makanan dan oksigen secara mandiri, jadi mereka bergantung pada makanan yang disediakan oleh kelompok produsen.

Alga koralin, alga hijau, alga coklat, dan zooxanthella adalah produsen jaring makanan terumbu karang. Banyak hewan invertebrata dan vertebrata, termasuk bintang laut raksasa dan ikan kepe-kepe, memakan produsen tersebut, seperti yang ditunjukkan pada gambar. Selain itu, beberapa makhluk hidup di ekosistem terumbu karang memakan alga, seperti ikan dari keluarga Acanthuridae. Antara 50 dan 70 persen populasi ikan ini memakan daging. Sebagian besar ikan karnivora yang hidup di lingkungan terumbu karang adalah oportunistik, memilih mangsa yang menguntungkan bagi mereka. Mereka juga mengonsumsi berbagai jenis mangsa pada fase-fase yang berbeda dalam siklus hidup mereka (Nybakken, 1992).

2.3.3 Piramida Makanan

Dalam diagram tingkat trofik, piramida menunjukkan perbandingan jumlah biomassa dan energi antara produsen dan konsumen, dengan konsumen berada di tingkat tertinggi dalam ekosistem. Interaksi antara rantai makanan dan hubungan metabolisme menyebabkan berbagai komunitas memiliki struktur trofik yang spesifik. Hal ini juga berlaku pada berbagai ekosistem seperti danau, hutan, terumbu karang, dan padang rumput, yang masing-masing memiliki struktur trofik khas. Struktur trofik dapat diukur dan digambarkan melalui biomassa per satuan luas atau melalui jumlah energi yang diserap setiap satuan waktu pada tingkat trofik yang berbeda.

Struktur trofik ekosistem dapat digambarkan dengan menggunakan piramida ekologi, di mana tingkat pertama, atau tingkat produsen, adalah tingkat yang paling dasar dari tingkat-tingkat berikutnya hingga mencapai puncaknya. Piramida energi, biomassa, dan jumlah individu adalah tiga piramida ekologi yang dapat digunakan untuk mengukur struktur dan fungsi tropik. Piramida biomassa dianggap lebih baik daripada piramida jumlah individu karena menunjukkan hubungan kuantitatif biomassa. Piramida ekologi memberikan gambaran umum tentang bagaimana rantai pangan mempengaruhi kelompok ekologi secara menyeluruh. (Latuconsina, 2019). Piramida ekologi dipergunakan untuk menunjukkan hubungan kuantitatif komponen biologis dalam ekosistem. Menurut fungsinya piramida ekologi dapat menggambarkan struktur tropik dan fungsi tropik melalui tiga kategori piramida ekologi, yaitu piramida jumlah, biomassa, dan energi.

1. Piramida Jumlah

Piramida jumlah mengelompokkan organisme di suatu area berdasarkan tingkat trofiknya. Piramida ini menggambarkan jumlah organisme di setiap tingkat trofik, dengan organisme di tingkat trofik pertama biasanya memiliki jumlah organisme yang paling banyak, sedangkan jumlah organisme di tingkat trofik kedua, ketiga, dan seterusnya cenderung berkurang. Pada komunitas yang seimbang, jumlah tumbuhan sebagai produsen lebih besar daripada herbivora sebagai konsumen pertama. Begitu pula, jumlah herbivora lebih besar dibandingkan karnivora tingkat pertama yang bertindak sebagai konsumen kedua. Jumlah karnivora tingkat pertama juga lebih besar daripada karnivora tingkat kedua. Oleh karena itu,

Jumlah organisme di setiap tingkat trofik menentukan piramida jumlah.

2. Piramida Biomassa

Piramida Biomassa: Piramida ini mengelompokkan individu yang mewakili setiap tingkat trofik berdasarkan biomasanya. Biomassa, juga disebut sebagai standing crop, adalah jumlah total materi hidup yang ada dalam ekosistem. Selain itu, biomassa juga dapat diartikan sebagai ukuran berat materi hidup di waktu tertentu. Karena hubungan kuantitatif biomassa dapat dilihat, piramida ini dianggap lebih baik daripada piramida jumlah. Setelah mengeringkan, berat individu diukur untuk mendapatkan massa individu yang telah dikeringkan. Biomassa per individu diukur dalam satuan berat per unit luas, seperti gram berat kering per meter persegi. Untuk menentukan jumlah biomassa pada setiap tingkat dalam jaring makanan, Sebelum kita dapat memperkirakan jumlah organisme pada setiap tingkat, kita harus mengetahui berat rata-rata organisme pada setiap tingkat. Karena transfer energi yang tidak efisien antara tingkat tropik, piramida biomassa biasanya menyempit secara tajam dari produsen di bagian dasar ke karnivora tingkat atas di bagian ujung.

Piramida biomassa adalah representasi visual yang menunjukkan massa total semua organisme dalam suatu habitat tertentu, biasanya diukur dalam gram. Sampel kecil biasanya diambil dan diukur untuk mencegah kerusakan habitat, dan kemudian dari sampel ini, total biomassa dihitung. Metode ini membantu mendapatkan data yang lebih akurat tentang kondisi ekosistem.

3. Piramida energi

Piramida energi, juga dikenal sebagai piramida produktivitas, mengungkapkan jumlah energi dalam bentuk berat kering per meter persegi selama periode waktu tertentu. Piramida energi, yang dibangun melalui pengamatan yang dilakukan selama waktu yang lama, sering kali memberikan informasi yang lebih lengkap daripada piramida biomassa. Jika dibandingkan dengan piramida-piramida lainnya, piramida energi dianggap sebagai piramida yang paling efektif dalam menggambarkan bagaimana komponen-komponen ekosistem berinteraksi dan berperan dalam mengatur aliran energi. Hal ini disebabkan oleh:

- a. Dapat memberikan gambaran yang dinamis dan menyeluruh tentang kecepatan pergerakan energi potensial dalam bentuk materi (bahan makanan) sepanjang rantai makanan atau tingkat trofik yang berurutan, baik dalam satuan ruang maupun waktu.
- b. Perbedaan ukuran atau laju metabolisme di setiap tingkat trofik tidak mempengaruhi bentuk piramida. Akibatnya, berdasarkan hukum termodinamika II, piramida energi tidak akan pernah terbalik jika semua sumber energi dipertimbangkan.

Pergerakan energi di dalam suatu ekosistem berlangsung melalui serangkaian tahapan perubahan. Dalam tahap awal, Produsen mengubah sinar matahari menjadi energi kimia yang disimpan dalam sel-sel tumbuhan, atau protoplasma. Kemudian, konsumen primer mengonsumsi

tumbuhan dan mengubah energi ini menjadi energi kimia yang berbeda yang disimpan dalam sel-sel tubuh mereka. Konsumen sekunder kemudian memakan konsumen primer.

Sebagian besar organisme memiliki efisiensi ekologi yang rendah, yang berarti mereka hanya dapat mengubah sebagian kecil energi yang diterima menjadi energi kimia. Sebagai contoh, tanaman hijau hanya dapat mengubah 0,1 hingga 1% dari energi matahari menjadi protoplasma. Sebagian besar energi yang diserap digunakan untuk pertumbuhan tanaman dan kemudian dilepaskan kembali ke lingkungan sebagai energi panas. Herbivora dan karnivora, seperti hewan pemakan tumbuhan dan pemakan daging, hanya dapat mengubah sebagian kecil dari makanan yang mereka konsumsi menjadi energi yang terkandung dalam sel-sel tubuh mereka.

Setiap ekosistem membentuk piramida energi karena pada setiap tahap rantai makanan terjadi pelepasan sejumlah besar energi panas. Tanaman menempati dasar piramida, diikuti oleh herbivora sebagai konsumen pertama di tingkat berikutnya, dan karnivora sebagai konsumen kedua berada di bagian puncak piramida. Piramida ini menggambarkan bahwa aliran energi melalui tanaman lebih besar dibandingkan melalui herbivora, dan aliran energi melalui herbivora lebih besar dibandingkan melalui karnivora.

Pada ekosistem daratan, terdapat sebuah piramida energi yang menciptakan piramida biomasa (berat). Hal ini menunjukkan bahwa tanaman-tanaman memiliki berat total yang lebih tinggi dibandingkan dengan herbivora dan karnivora yang berat totalnya tidak melebihi berat total herbivora. Namun, jumlah biomasa tanaman dan binatang di lautan adalah sebanding. Dalam piramida energi, terdapat

penurunan jumlah energi yang tersedia di setiap tingkat trofik secara berurutan. Penurunan energi ini disebabkan oleh beberapa faktor:

1. Hanya sebagian makanan yang dapat dimangsa oleh tingkat trofik selanjutnya.
2. Sebagian makanan tidak dapat dicerna dan dikeluarkan, dan.
3. Hanya sebagian makanan yang dicerna dan diubah menjadi bagian tubuh organisme, sementara sisanya digunakan sebagai sumber energi.

Energi merupakan kemampuan untuk melakukan aktivitas. Makanan yang dikonsumsi oleh organisme menghasilkan energi yang digunakan untuk mendukung berbagai aktivitas hidupnya. Kehidupan di bumi bergantung pada cahaya matahari sebagai sumber utama energi. Tumbuhan yang memiliki klorofil memanfaatkan cahaya matahari dalam proses fotosintesis. Organisme fotoautotrof mengubah energi cahaya menjadi senyawa organik, sedangkan kemoautotrof memanfaatkan energi dari reaksi kimia untuk memproduksi makanannya. Konsumen memperoleh energi dari makanan yang dikonsumsi untuk menjalankan berbagai aktivitas dalam hidup mereka.

Oksidasi, atau pernapasan, adalah proses pembebasan energi yang tersembunyi dari makanan. Jenis makhluk hidup yang dapat menghasilkan makanan sendiri, yang sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup yang tidak mampu membuatnya sendiri, seperti manusia, hewan, dan beberapa jenis bakteri. Material organik yang sudah dalam bentuk jadi dikenal sebagai makanan makhluk yang tidak dapat membuat makanan sendiri. Transfer energi dari satu bentuk ke bentuk lain dikenal sebagai aliran energi. Ini dimulai dengan cahaya matahari, diikuti oleh tumbuhan sebagai

produsen, hewan sebagai konsumen primer, hewan lain sebagai konsumen tingkat tinggi, dan terakhir, organisme saproba yang ada di dalam tanah. Semua ini terjadi di ekosistem.

Pada setiap rangkaian makanan, mayoritas energi matahari yang terperangkap oleh organisme yang melakukan fotosintesis disalurkan kembali ke lingkungannya dalam bentuk panas . Jadi, kesimpulannya adalah bahwa kuantitas total energi yang ada dalam tubuh suatu populasi tertentu bergantung pada posisi hirarkisnya di rantai makanan. Contohnya, seperti yang ditunjukkan dalam gambar, jumlah keseluruhan energi dalam populasi katak harus jauh lebih rendah dibandingkan dengan energi yang terdapat dalam serangga yang menjadi mangsanya. Di sisi lain, serangga memiliki sedikit cadangan energi yang tersimpan dalam tumbuhan yang mereka konsumsi. Penjelasan mengenai penurunan total energi yang tersedia di setiap tingkatan trofik dapat diilustrasikan menggunakan piramida energi (Sumarto & Koneri, 2016).

2.3.4 Aliran Energi

Perpindahan energi antar tingkat dalam ekosistem dikenal sebagai aliran energi. Melalui fotosintesis, produsen seperti tumbuhan mengonversi energi matahari menjadi energi kimia. Energi kimia ini kemudian didistribusikan melalui piramida ekologi, jaring makanan, dan rantai makanan (Latuconsina, 2019). Proses transfer energi dari satu tingkat trofik ke tingkat lainnya juga disebut aliran energi. Tingkat trofik suatu organisme mencerminkan posisinya dalam jaring makanan berdasarkan sumber makanannya.

Setiap perpindahan energi berasal dari sinar matahari, yang diambil oleh produsen dan didistribusikan kemudian ke konsumen. Energi matahari adalah sumber utama semua proses kehidupan di Bumi, baik secara langsung maupun tidak langsung. Produsen atau organisme autotrof mendapatkan energi secara langsung melalui proses fotosintesis, yang menghasilkan energi dari cahaya matahari.

Energi bergerak dari satu tingkat trofik ke tingkat yang lebih tinggi dalam ekosistem karena interaksi makhluk hidup dengan lingkungannya. Proses aliran energi ini berlangsung searah, dimulai dari sinar matahari yang diserap oleh produsen, kemudian diteruskan ke konsumen pertama, konsumen kedua, dan seterusnya. (Juwitaningsih, 2018). Mengenai cara pergerakan energi dalam ekosistem, berikut adalah prosesnya:

1. Fotosintesis: Fotosintesis merupakan titik awal dimulainya aliran energi dalam ekosistem. Energi ini kemudian dimanfaatkan oleh piramida biomassa atau rantai makanan.
2. Rantai Makanan: Energi mengalir melalui ekosistem ketika produsen, seperti tumbuhan, menyerap cahaya matahari menggunakan kloroplas dan mengubahnya menjadi energi kimia melalui proses fotosintesis. Energi kimia yang tersimpan dalam bentuk glukosa pada tumbuhan kemudian diteruskan ke herbivora yang memakan tumbuhan tersebut. Konsumen primer adalah organisme yang langsung menerima energi dari produsen,] energi tersebut akan berpindah ke tingkat trofik berikutnya, yang biasanya adalah hewan pemakan daging atau karnivora, mereka menjadi sumber energi bagi konsumen sekunder ini. Energi ini dapat terus

mengalir ke tingkatan makanan yang lebih tinggi, seperti pemburu tingkat ketiga dan pemburu tingkat keempat.

3. Respirasi pada Organisme: Semua makhluk hidup di ekosistem memanfaatkan energi melalui proses respirasi untuk menjalankan aktivitas mereka. Sebagian energi yang dihasilkan melalui respirasi digunakan oleh organisme untuk berbagai kegiatan, sementara sisanya dilepaskan ke lingkungan dalam bentuk panas.
4. Penguraian: Pengurai seperti jamur dan bakteri memecah bahan organik menjadi senyawa anorganik ketika makhluk hidup mati. Proses dekomposisi ini menghasilkan panas dan mengembalikan nutrisi ke tanah, yang kemudian dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan dalam fotosintesis.

Energi dalam ekosistem berasal dari cahaya matahari yang diubah oleh produsen menjadi senyawa organik dalam bentuk energi kimia, mengikuti urutan aliran energi

a. Produsen

Proses ini dimulai oleh produsen, seperti tumbuhan, yang menjadi titik awal rantai energi. Organisme seperti tumbuhan dan alga memiliki peran penting dalam ekosistem karena mampu mengubah energi matahari menjadi energi kimia melalui fotosintesis. Klorofil di daun menyerap energi matahari selama proses tersebut dan mengubah karbon dioksida serta air menjadi glukosa (gula) dan oksigen. Glukosa ini kemudian digunakan sebagai sumber energi dan bahan bakar untuk pertumbuhan tanaman, sementara oksigen dilepaskan ke atmosfer. Sebagai produsen di tingkat trofik pertama, mereka menyediakan sumber energi utama bagi semua organisme dalam ekosistem.

Dengan fotosintesis, produsen memperoleh energi yang diperlukan untuk berbagai aktivitas kehidupan, seperti respirasi dan pertumbuhan.

b. Konsumen

Konsumen merupakan organisme yang memperoleh energi dan biomassa dengan memakan tumbuhan atau organisme lain. Berada di tingkat trofik kedua, mereka menempati posisi di atas produsen. Konsumen sekunder, yang sering disebut predator, adalah hewan yang memangsa hewan herbivora. Konsumen tingkat kedua, atau predator tingkat dua, adalah organisme yang memangsa konsumen tingkat ketiga atau predator tingkat dua.

c. Dekomposer

Dekomposer tidak dianggap bagian dari jaringan makanan karena mereka tidak secara langsung memakan organisme lain. Meskipun begitu, Pengurai memiliki peran vital dalam ekosistem karena mereka memecah bahan organik dari sisa-sisa organisme mati, seperti bangkai hewan, kotoran, dan daun yang jatuh.

Ekosistem yang berada di perairan, seperti sungai, rawa, laut, dan danau, termasuk dalam kategori ekosistem perairan. Berikut adalah beberapa contoh aliran energi yang terjadi dalam ekosistem perairan:

1. Aliran Energi dalam Ekosistem Terumbu Karang

Di ekosistem terumbu karang, energi dimulai dari fitoplankton dan alga sebagai produsen primer yang menggunakan energi matahari melalui fotosintesis. Herbivora seperti ikan herbivora (misalnya ikan parrotfish) memakan produsen ini dan mentransfer

energi ke tingkat trofik kedua. Selanjutnya, ikan karnivora seperti ikan predator (misalnya ikan kerapu) memakan herbivora, sehingga energi berpindah ke tingkat trofik lebih tinggi. Ketika organisme mati, detritivor seperti cacing laut dan bakteri memecah bahan organik, mengembalikan energi dan nutrisi ke lingkungan, yang kemudian dapat dimanfaatkan kembali oleh produsen primer.

2. Aliran Energi di Laut Dalam

Di ekosistem laut dalam, yang tidak mendapat cahaya matahari, produsen primer adalah bakteri kemosintetik yang memanfaatkan senyawa kimia dari ventilasi hidrotermal sebagai sumber energi. Konsumen primer seperti cacing tabung raksasa mendapatkan energi dengan bersimbiosis dengan bakteri tersebut. Konsumen sekunder, seperti ikan predator laut dalam, kemudian memakan konsumen primer, mentransfer energi di sepanjang rantai makanan. Di sini, detritus yang jatuh dari lapisan atas laut juga berperan sebagai sumber energi bagi organisme bentik.

3. Aliran Energi dalam Ekosistem Muara

Di ekosistem muara, energi dimulai dari produsen primer seperti rumput laut, fitoplankton, dan mangrove yang menggunakan energi matahari untuk fotosintesis. Energi ini kemudian ditransfer ke herbivora seperti udang dan ikan kecil yang memakan fitoplankton. Konsumen sekunder, seperti burung air dan ikan predator, memakan herbivora, mentransfer energi lebih lanjut. Detritus dari daun mangrove yang gugur dan organisme mati dimanfaatkan oleh detritivor seperti kepiting bakau dan cacing, yang

kemudian mengembalikan nutrisi ke lingkungan dan mendukung pertumbuhan produsen primer.

Ketiga contoh ini menunjukkan bagaimana energi mengalir melalui berbagai tingkat trofik dalam ekosistem perairan, dengan produsen primer sebagai titik awal energi yang ditransfer melalui rantai makanan hingga ke detritivor.

2.4 Siklus Energi

Perputaran energi dalam ekosistem dimulai dengan energi matahari. Siklus materi adalah proses berulang di mana elemen kimia atau bahan tertentu beredar melalui ekosistem tanpa berhenti. Materi-materi ini terus bergerak dalam ekosistem tanpa mengalami pengurangan atau penambahan yang signifikan dari luar. Siklus zat penting yang terjadi di ekosistem termasuk:

1. **Siklus Karbon:** Karbon merupakan unsur esensial yang menjadi fondasi kehidupan. Beberapa proses alami yang memungkinkan pertukaran karbon antara atmosfer, tanaman, hewan, dan tanah termasuk fotosintesis, respirasi, dekomposisi, dan pembakaran bahan bakar fosil.
2. **Siklus Nitrogen:** Nitrogen, yang merupakan elemen kunci dalam protein dan asam nukleat, mengalami transformasi selama siklus nitrogen. Gas nitrogen diubah menjadi bentuk yang dapat dipakai oleh tumbuhan dan hewan melalui proses seperti nitrifikasi, denitrifikasi, fiksasi, dan dekomposisi.
3. **Siklus Fosfor:** Fosfor bergerak dari batuan ke tanah, tumbuhan, hewan, dan kembali ke lingkungan melalui

proses alami seperti pelapukan. Fosfor penting untuk sintesis DNA, RNA, dan molekul energi seperti ATP.

DAFTAR PUSTAKA

- Burhanuddin, A. I. (2021). *Biologi Kelautan* (A. P. U. Ria, Ed.; 1st ed.). Lily Publisher.
- Effendi, R., Salsabila, H., & Malik, A. (2018). Pemahaman tentang Lingkungan Berkelanjutan. *MODUL*, 18(2), 75. <https://doi.org/10.14710/mdl.18.2.2018.75-82>
- Jabar, A. S., Mahdhivan, S., & Aadrean. (2021). Pemodelan Jaring-Jaring Makanan Pemangsa Generalis pada Dua Trofik. *Jurnal Matematika UNAND*, 10(3), 321–328.
- Jalaluddin, M., Octaviyani, I. N., Putri, A. N. P., Octaviyani, W., & Aldiansyah, I. (2020). Padang Lamun Sebagai Ekosistem Penunjang Kehidupan Biota Laut di Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu, Indonesia. *Jurnal Geografi Gea*, 20(1), 44–53. <https://ejournal.upi.edu/index.php/gea>
- Juwitaningsih, D. (2018). *Lingkungan Hidup Kita* (Vol. 8). Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Latuconsina, H. (2019). *Ekologi Perairan Tropis: Prinsip Dasar Pengelolaan Sumberdaya Hayati Perairan* (Ratna, Ed.). Gadjah Mada University Press.
- Mukharomah, E. (2020). *Konsep Dasar Ekologi Tumbuhan* (Vol. 1). Bening Media Publishing.
- Nybakken, J. W. (1992). *Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis* (Eidman, D. G. Koesoebiono, M. H. Bengen, & S. S, Eds.; Terjemahan). Gramedia.

- Putri, S. I. P., & Sari, S. H. J. (2015). Struktur Komunitas Fitoplankton dan Kaitannya dengan Ketersediaan Zat Hara dan Parameter Kualitas Air Lainnya di Perairan Timur Surabaya. *Depik*, 4(2), 79–86. <https://doi.org/10.13170/depik.4.2.2455>
- Radiarta, I. N. (2013). Hubungan antara Distribusi Fitoplankton dengan Kualitas Perairan di Selat Alas, Kabupaten Sumbawa, Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Bumi Lestari*, 13(2), 234–243.
- Sumarto, S., & Koneri, R. (2016). *Ekologi Hewan*. CV. Patra Grafindo Bandung.
- Tri Edhi Budhi Soesilo, dr. (n.d.). *Lingkungan Hidup Sebagai Sistem*.
- Zid, M., & Hardi, O. S. (2019). *Biogeografi* (B. S. Fatmawati, Ed.; Vol. 1). Bumi Aksara.

BAB 3

KEBERAGAMAN HAYATI DAN KARAKTERISTIK ORGANISME AKUATIK

Oleh Raudhatus Sa'adah

3.1 Pendahuluan

Keanekaragaman hayati atau yang lebih dikenal dengan sebutan biodiversity terdiri dari flora maupun fauna. Menurut Rawat dan Agarwal (2015), Pengertian keanekaragaman hayati secara luas menggambarkan derajat keanekaragaman, perubahan keanekaragaman serta kelimpahan sistem alam. Keanekaragamannya berbagai jenis mulai dari tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme, serta ekosistem yang terbentuk.

Didefinisikan keanekaragaman hayati secara luas adalah keanekaragaman makhluk hidup dari berbagai sumber, termasuk ekosistem darat, laut, dan perairan lainnya, serta kompleks ekologi yang menjadi bagian dari keanekaragaman tersebut. Ini mencakup keanekaragaman spesies, gen dan ekosistem yang mencakup seluruh jenis tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme.

Keanekaragaman genetik (dalam suatu spesies) mencakup seluruh informasi genetik sebagai pembawa sifat genetik seluruh organisme yang ada. Keanekaragaman

hayati mengacu pada keanekaragaman organisme atau spesies dengan karakteristik genetik tertentu. Keanekaragaman ekosistem, mengacu pada keanekaragaman habitat, yaitu adanya interaksi antara factor biotik dan abiotik terhadap organisme hidup.

3.2 Jenis-Jenis Keberagaman Hayati

Keanekaragaman hayati adalah keanekaragaman makhluk hidup di bumi terdiri dari Jamur, bakteri, hewan, dan tumbuhan yang menyusun seluruh ekosistem. Keanekaragaman hayati dapat dilihat ini.

3.2.1 Keanekaragaman Hayati Tingkat Genik

Perbedaan genetik individu hewan, tumbuhan, serta mikroorganisme yang terjadi dalam suatu populasi suatu spesies. Sederhananya, ini adalah keragaman genetik dalam suatu spesies atau populasi. Gen adalah rangkaian DNA berbeda (asam deoksiribonukleat) yang merupakan bagian dari kromosom yang diwarisi oleh keturunannya dari orang tuanya. Keanekaragaman genetik mengacu pada berbagai jenis gen dan variasinya dalam kromosom suatu spesies. Salah satu contoh adanya beberapa jenis Ikan berasal dari spesies yang sama tetapi memiliki kode genetik yang berbeda seperti Ikan Cupang dengan berbagai jenis yaitu cupang serit (*Crown Tail*), cupang sawah, cupang emas, dan cupang bulan (*Halfmoon*). Bahkan di dalam gen, terdapat variasi lebih lanjut dalam warna, ukuran, bentuk, dan lain-lain. Jumlah gen meningkat seiring dengan meningkatnya ukuran individu dan kendala lingkungan (Adom *et al.*, 2019).

Dalam dunia perikanan juga ditemukan berbagai ikan yang sama dengan kode genetic yang berbeda hal ini dikarenakan adanya perubahan global serta kondisi

lingkungan yang terjadi didalam perairan. Sering kita jumpai ikan sejenis namun dengan warna kulit yang berbeda sebagai contoh dalam 1 kali pemijahan ikan maka akan didapatkan ikan yang memiliki Tingkat pertumbuhan yang berbeda sebagai contoh ikan lele yang berwarna hitam bisa juga menghasilkan adanya ikan lele bewarna putih atau sering kita sebut albino, dan bisa terjadi juga pada jenis ikan lainnya. Sehingga keaneragaman hayati genetik sudah banyak juga ditemukan dalam dunia perikanan.



Gambar 3. 1. Ikan lele dumbo dan ikan lele albino
(Sumber: <https://trubus.id/antisipasi-penyakit-pada-lele/>)

3.2.2 Keanekaragaman Hayati Tingkat Spesies

Pengertian Keanekaragaman hayati Tingkat spesies adalah keragaman jenis atau organisme diukur dengan kekayaan spesies dengan jumlah total spesies dalam suatu wilayah tertentu. Berdasarkan fungsi klasifikasi spesies dibagi dua yaitu Spesies yang melakukan fungsi ekologis yang berbeda yaitu jenis fungsional) dan spesies yang berbeda yang melakukan fungsi ekologis yang sama atau mirip (Analog fungsional). Keanekaragaman hayati telah teridentifikasi di beberapa wilayah perhutatan dan perairan dengan jumlah yang terus meningkat. Beberapa jenis hewan,

ikan, dan tumbuhan semakin meningkat yang berarti keanekaragaman hayati atau biodiversitas Indonesia semakin meningkat. Namun, mengingat kondisi lingkungan, berkurangnya hutan terbuka dan perairan, serta penyebab berkurangnya spesies di kawasan tersebut.

Saat ini banyak pemerintah daerah yang sudah mulai banyak meningkatkan hasil riset rekayasa genetik untuk mendapatkan varietas baru untuk bidang perikanan, sebagai salah satu contoh dihasilkannya varietas ikan patin siam yang diambil dari Indonesi, Kamboja dan Vietnam, hasil riset rekayasa perkawinan yang telah dilakukan oleh Balai Perikanan Budidaya Air Tawar Jambi (BPBAT) ikan patin ini diberi nama ikan patin PUSTINA (Pusat Ikan Patin Nasiona) Dimana riset dilakukan mulai tahun 2009 hingga tahun 2020. Varietas ikan patin PUSTINA ini sebagai hasil riset rekayasa genetik yang menghasilkan varietas ikan batin yang lebih besar, daging lebih tebal dan pertumbuhan cepat. Saat ini ikan patin tersebut sudah banyak dikonsumsi Masyarakat luas salah satunya Masyarakat di area pulau Sumatera (BPBAT, 2021)

Keanekaragaman hayati dilihat adanya hubungan antara jumlah spesies dan nilai penting yaitu biomassa, produktivitas dan kelimpahan. Keanekaragaman menjadi lebih rendah ketika ekosistem biologis dan fisik terkendali. Hubungan antara spesies dan jumlah dalam suatu spesies berbanding terbalik. Ketika hanya ada sedikit spesies dalam suatu komunitas, maka terdapat banyak individu dari setiap spesies (spesies dominan). Sebaliknya bila spesiesnya banyak, maka individu yang ada hanya sedikit (spesies langka) (Putrawan, 2014).



Gambar 3. 2. Ikan Patin Pustina (Balai Perikanan Budidaya Air Tawar Jambi)

(Sumber : <https://ungkap.co.id/bpbat-sungai-gelam-produksi-indukan-ikan-patin-berkualitas/>)

3.2.3 Keanekaragaman Hayati Tingkat Ekosistem

Keanekaragaman ekosistem erat kaitannya dengan keanekaragaman habitat, termasuk komunitas biosfer dan proses ekologi. Ekosistem merupakan komunitas biologis hewan dan tumbuhan saling berinteraksi di suatu Kawasan dengan lingkungannya. Keanekaragaman ekosistem melihat adanya interaksi dan kumpulan spesies yang hidup berdampingan di wilayah tertentu dan lingkungannya. Misalnya, jika terdapat dua hutan berbeda di suatu kawasan, maka masing-masing hutan tentu akan memiliki ekosistem, komunitas alam, dan spesies habitat yang berbeda.

Keanekaragaman ekosistem mengacu pada interaksi antara makhluk hidup dan benda mati pada suatu habitat tertentu. Tingkat organisasi suatu ekosistem lebih tinggi daripada tingkat komunitas. Adanya hubungan timbal balik dalam suatu ekosistem antara organisme hidup dengan

lingkungan biotik dan abiotik, yang aliran energi dan siklus materialnya membentuk suatu sistem. Keanekaragaman ekosistem dihasilkan dari perubahan komunitas biologis dan lingkungan fisiknya. Keanekaragaman yang terjadi pada suatu ekosistem menunjukkan adanya variasi/perbedaan pada komponen-komponennya. Hal ini disebabkan oleh keragaman faktor abiotik dan keragaman komposisi populasi biologis. Setiap ekosistem mempunyai tipe populasi yang berbeda-beda yang menyusunnya. Jenis dan jumlah tumbuhan, hewan, dan biota lain yang tumbuh subur di lingkungan tersebut.

Ekosistem yang ada di permukaan bumi (makrokosmos) secara umum diklasifikasikan menurut asal dan jenisnya. Berdasarkan cerita asal usulnya. Ekosistem dibedakan menjadi ekosistem buatan dan ekosistem alami. Ekosistem kini terbagi menjadi ekosistem perairan dan ekosistem darat, tergantung pada jenisnya. Ada banyak jenis variasi di setiap ekosistem.

3.3 Keanekaragaman Ekosistem Perairan

Ekosistem perairan terdiri dari perairan laut dan perairan tawar, penjelasannya sebagai berikut:

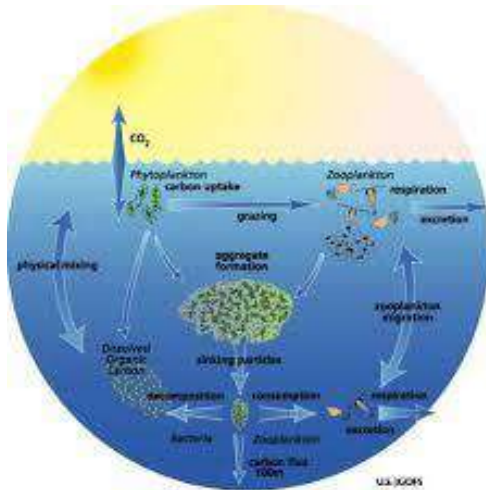
3.3.1 Ekosistem Perairan Laut

Lautan merupakan perairan yang dalam dan luas, serta ditandai dengan adanya air asin. Konsep perairan laut mempunyai dimensi yang lebih luas, dan menjadi pusat permasalahan. Pengertian perairan kelaut yaitu segala sesuatu yang mencakup (konsep, ide, materi, peristiwa, kegiatan) berhubungan langsung dengan laut dan segala aspeknya. Menurut Swasta dan Ida Bagus J., (2018) menyatakan adanya hubungan antara dimensi fisik, kimia

dan biologi sehingga istilah laut mengarah kepada segala sesuatu yang berhubungan dengan laut. Kelompok ekosistem perairan laut mempunyai karakter sebagai berikut.

1. Terdapat fluktuasi suhu (variasi permukaan dan kedalaman laut).
2. Salinitas tinggi (Semakin dekat ke garis khatulistiwa, salinitasnya semakin tinggi.) Hingga 75% didominasi oleh NaCl (Fatma, D. 2016).
3. Ekosistem laut terbagi menjadi beberapa zona (zona pesisir, zona neritik, zona laut) tergantung jarak dari pantai dan kedalamannya.

Setiap zona memiliki keanekaragaman hayati (jenis tumbuhan dan hewan) dan keanekaragaman geografis. Luas Permukaan bumi terdiri dari 70 % adalah air laut dengan biota saling berhubungan. Dalam situasi ini, penyebaran mikroorganisme yang dikandungnya menjadi tidak terbatas. Namun suatu daerah tertentu mempunyai ciri khas yang menjadi pembatas bagi makhluk hidup (organisme) yang tersedia. Perbedaan air laut dengan air tawar yaitu kandungan salinitas, Salinitas air laut lebih tinggi dibandingkan air tawar. Salinitas yang berbeda ini menyebabkan terjadinya pengaturan tekanan osmotik pada biota yang dikandungnya (proses osmoregulasi). Dalam siklus produksi diperairan laut terbentuk rantai makan yang terjadi didalamnya. Rantai makanan terdapat konsumen tingkat tinggi yaitu ikan dan produsen Tingkat rendah yaitu plankton. ikan mati akan menjadi bangkai dan menjadi makanan plankton dan plankton menjadi makanan bagi ikan dan begitu seterusnya dalam rantai makanan yang terjadi di dalam perairan. Diagram siklus rantai makanan yang terjadi di air laut terdapat pada gambar di bawah berikut:



Gambar 3. 3. Siklus Rantai Makanan dalam Perairan Laut

Sumber : www.marine-geonomics-europe.org

3.3.2 Ekosistem Perairan Tawar

Perairan tawar disebut juga air umum atau air pedalaman karena terdapat di daratan mulai dari pegunungan hingga dataran rendah dekat pantai. Perairan tawar mencakup danau, waduk, sungai, rawa, dan sumur. Di air tawar, air yang digunakan terbagi dalam tiga kategori: air hujan, air permukaan, dan air tanah. Secara umum, tiga jenis air yang biasa digunakan untuk bercocok tanam adalah air permukaan yang alirannya relatif konstan dan kaya akan unsur hara. Perairan air tawar terdapat arus dan juga kecepatan yang bervariasi tergantung jenis perairannya. Perairan tawar juga dipengaruhi oleh musim hujan dan

musim kemarau dimana kondisi air yang terdapat dalam perairan tawar mempengaruhi ekosistem dan biota yang ada didalamnya.

3.4 Karakteristik Organisme Akuatik

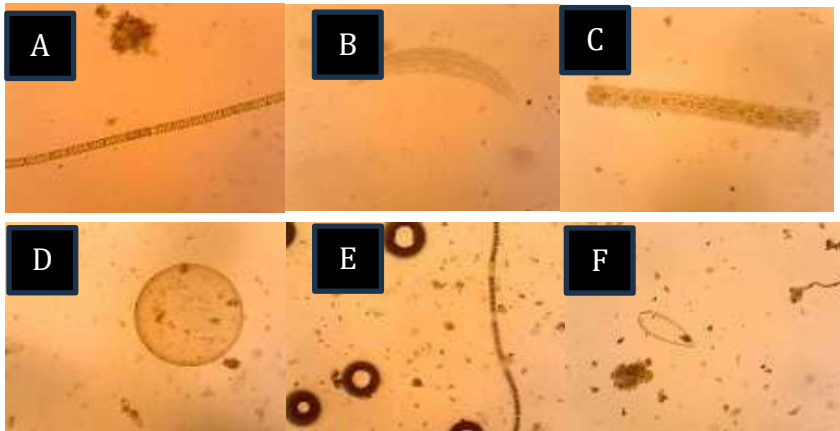
Organisme akuatik merupakan berbagai macam makhluk hidup yang ada di perairan laut maupun tawar serta dalam bentuk hewan maupun tumbuhan. Organisme akuatik secara umum terbagi menjadi tiga kelompok besar: plankton, nekton, dan benthos. Mereka bervariasi dalam cara bergerak dan tempat tinggalnya, berikut penjelasannya:

- a. **Plankton** merupakan organisme akuatik terkecil yang tidak dapat bergerak sendiri. Mereka hidup mengikuti arus. Plankton terdiri dari fitoplankton (tumbuhan) dan zooplankton (hewan).
- b. **Nekton** merupakan hewan akuatik yang dapat bergerak sendiri dengan cara "berenang" di dalam air. Nekton dapat hidup di zona mengalir atau tergenang, nekton (ikan)
- c. **Bentos** merupakan organisme akuatik yang merayap di sedimen di dasar perairan. Banyak di antaranya merupakan pengurai. Bentos meliputi spons, kerang, dan ikan yang hidup di dasar perairan.

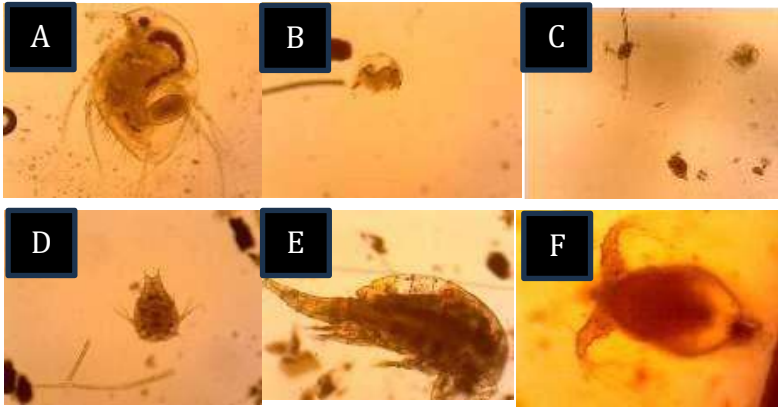
3.4.1 Plankton

Plankton merupakan makhluk hidup yang kecil dan terdapat dua jenis plankton yaitu plankton hewani (zooplankton) dan plankton tumbuhan (fitoplankton) selain itu juga ada 2 kelompok plankton yaitu holoplankton dan meroplankton. Holoplankton merupakan organisme akuatik yang siklus hidupnya seperti plankton, yang kedua adalah meroplankton yang siklus hidupnya hanya sebagian dari

plankton (Nybakken, 1992). Kelompok fitoplankton pertama meliputi diatom, dinoflagellata, coccolithophores, dan cryptomonads. Kedua kelompok hewan plankton tersebut mencakup jutaan zooplankton, mulai dari kelompok Protozoa hingga kelompok Chordata (Arinardi et al., 1997). Adjie (2007) menyatakan bahwa mikroorganisme (fitoplankton dan zooplankton), ditinjau dari jumlahnya dan spesiesnya sangat banyak, sangat beragam, dan sangat padat. Plankton dibagi menjadi dua kelompok sesuai dengan habitatnya yaitu plankton air laut dan plankton air tawar. Berikut adalah beberapa gambar fitoplankton dan zooplankton air tawar sebagai berikut :



Gambar 3. 4. Beberapa Genus Fitoplankton Air Tawar a. *Spyrogyra* b. *Closterium* c. *Micrasterias* d. *Stephanodiscus* e. *Melosira* f. *Surirella*



Gambar 3. 5. Beberapa Genus Zooplankton Air Tawar a. *Daphnia* b. *Chydorus* c. *Keratella aculea* d. *Copepod* e. *Euchaeta* f. *diaphanosoma*

Sumber : Hasil Penelitian Mandiri Raudhatus Sa'adah (2018)

3.4.2 Nekton

Nekton merupakan organisme akuatik yang dapat berenang bebas di kolom air dan menentukan arah pergerakannya. Salah satu perbedaan antara nekton dan plankton adalah kemampuannya bergerak secara horizontal melalui perairan. Banyak spesies (hampir semua spesies komersial) memanfaatkan kemampuan ini untuk hidup di lokasi/daerah yang makanannya berlimpah dan dapat memilih tipe habitat yang optimal tergantung pada tahap siklus hidupnya. Kelompok nekton terutama terdiri dari hewan-hewan besar dan mencakup beberapa organisme terbesar dan bergerak paling cepat di lautan. Berbeda dengan plankton yang didominasi oleh invertebrata, nekton pada dasarnya adalah hewan vertebrata, dengan ikan sebagai spesies dan individu yang paling melimpah.

Komunitas nekton terdapat perwakilan semua jenis vertebrata, kecuali amfibi (Nybakken, 1988). Hewan invertebrata yang dapat digolongkan sebagai nekton hanyalah moluska dari kelas Cephalopoda yaitu cumi-cumi dan sotong. Tidak ada tumbuhan yang dapat berenang, oleh karena itu tidak ada tumbuhan yang tergolong nekton. Komposisi nekton meliputi ikan air tawar dan ikan air asin. Berikut adalah beberapa contoh nekton yang ada diperairan sebagai berikut:



Gambar 3. 6. Nekton jenis moluska kelas cephalophoda

Sumber:<https://nationalgeographic.grid.id/read/132845836/hasilstudi-mengungkapkan-sotong-memiliki-daya-ingat-yang-mengagumkan>

3.4.3 Bentos

Bentos merupakan makhluk yang hidup di perairan dasar. Karakteristik organisme bentos salah satunya makrozobentos memiliki sifat yang cenderung pasif dan pergerakannya yang rendah (Meisaroh *et al.*, 2019). Menurut Syakur (2021) bentos dikelompok menjadi tiga golongan yaitu makrozobentos, meiobentos dan makrobentos. Mikrozobentos ukuran lebih kecil dari 0,1 mm meiobentos merupakan organisme dengan ukuran antara lebih dari 1 mm seperti contohnya siput, kepiting, tiram air tawar, kerang, termasuk larva serangga.

Makrozobentos tergolong organisme akuatik yang hidup di perairan dasar dengan pergerakan yang lambat dan memiliki siklus hidup lama, sehingga dapat merespon keadaan kualitas air berulang kali (Zulkifli dan Setiawan, 2011), berdasarkan tempat hidupnya makrozoobentos terbagi menjadi 2 yaitu epifauna dan infauna. Infauna merupakan hewan bentos yang hidup di dalam substrat sedangkan bentos yang mendiami permukaan substrat termasuk epifauna (Elfahmi dan Efendy, 2020). Keberadaan makrozoobentos di perairan dapat menunjukkan karakter lingkungannya. Hasil penelitian Alfin (2014) hewan moluska dapat tumbuh dan berkembang hidup di zona litoral, yakni zona yang paling awal dan dapat ditembus cahaya. Beberapa contoh bentos yang ada di perairan :



Gambar 3. 7. Jenis makrozobentos *Cerithidea cingulata*

Sumber: https://www.flickr.com/photos/landshells_freshwater_gastropods/14667739847



Gambar 3. 8. *Tarebia granifera*

Sumber:https://invasions.si.edu/nemesis/species_summary/71539

DAFTAR PUSTAKA

- Adjie, S. 2007. Kelimpahan dan keanekaragaman plankton di sungai musi bagian hilir. *Prosiding Forum Perairan Umum Indonesia Ke-4*. Departemen Kelautan dan Perikanan. Jakarta.
- Adom, D. 2019. 'The Concept of Biodiversity and its Relevance to Mankind: A Short Review', *Journal of Agriculture and Sustainability*, 12(2), pp. 219–231. Available at: <http://infinitypress.info/index.php/jas/article/view/1801>.
- Afif, J., S. Ngabekti dan T. A. Pribadi. (2014). Keanekaragaman Makrozoobentos Sebagai Indikator Kualitas Perairan Di Ekosistem Mangrove Wilayah Tapak Kelurahan Tugurejo Kota Semarang. *Unnes Journal of Life Science*, 3(1), 47–52.
- Alfin, E. 2014. Kelimpahan makrozoobentos di perairan situ pamulang. *Al-Kauniya: Jurnal Biologi*. 7(2): Hal. 69-73.
- Arinandi, O.H., A.B. Sutomo., S.A. Yusuf., Trimaningsih., Elly Asnaryanti dan S.H Riyono. 1997. *Kisaran Kelimpahan Plankton dan Komposisi Plankton Predominan di Perairan Kawasan Timur Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta
- Cardinale, B. J. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity *Nature*, 486 (7401), pp. 59–67. doi: 10.1038/NATURE11148.

- Elfahmi, M.R dan Efendy, M. 2020. Struktur Komunitas makrozoobentos epifauna pada ekosistem lamun, mangrove dan terumbu karang di desa labuhan kecamatan sepuluh bangkalan. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*. 1(2): Hal. 260-268.
- Fatma, D. 2016. Ekositem air laut: Pengertian ciri dan jenisnya. <https://ilmugeografi.com/ilmu-bumi/laut/ekosistem-air-laut>.
- Handoyo, B. E. Rahayuni, Irwan, Hamid, M.A. Solaiman, N. Hendra. Evarianti. 2021. Pemuliaan Ikan Patin Siam. Balai Perikanan Budidaya Air Tawar Sungai Gelam. Jambi. Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Nybakken, J.W. 1992. *Biologi Laut. Suatu Pendekatan Ekologis*. Terjemahan dari Marine Biology An Ecological Approach. Alih Bahasa: M. Eidman, Koesoebiono, D.G.Bengen dan M.Hutomo. Gramedia. Jakarta.
- Nybakken, J. W. 1988. *Biologi Laut : Suatu Pendekatan Ekologis*. Penerjemah Muhammad Eidman, Koesoebiono, Dietrich Geoffrey, Bengen, MalikusworoHutomo dan Sukristijono Sukardo. Gramedia. Jakarta.
- Meisaroh, Y., Restu, I.W dan Pebriani, D.A.A. 2019. Struktur komunitas makrozobentos sebagai indikator kualitas perairan di pantai serangan provinsi bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*. 5(1). Hal 36. <https://doi.org/https://doi.org/10.24843/jmas.2019.v05.i01.p05>.

- Rawat, U. S. and Agarwal, N. K. 2015. 'Biodiversity: Concept, threats and conservation', *Environment Conservation Journal*, 16(3), pp. 19–28. doi: 10.36953/ecj.2015.16303.
- Sa'adah, R., 2018. Kualitas Air Kanal Desa Banyu Urip Kecamatan Tanjung Lago Kabupaten Banyuasin untuk Perikanan. Thesis. Program Studi Pengelolaan Lingkungan. Pasca Sarjana Universitas Politeknik Negeri Sriwijaya
- Syakur, A. 2021. Studi Makrozoobentos di pesisir pantai pantai karang-karangan kecmatan bua kabupaten luwu. *Biogenerasi:Jurnal Pendidikan Biologi*. 6(1): Hal. 45-54.
- Swasta, Ida Bagus J. 2018. Bioekologi Ekosistem Laut dan Estuaria. PT.Raja Grafindo Perkasa. Hal 126.
- Viza, R. Y. 2018. Eksplorasi dan visualisasi morfologis jenis moluska (gastropoda dan bivalvia) di sungai batang marangin. *Biocolony: Jurnal Pendidikan Biologi Dan Biosains*, 1(1), 1–6.
- Zulkifli, H dan Setiawan, D. 2011. Struktur komunitas makrozoobentos di perairan sungai musi kawasan pulokerto sebagai instrumen biomonitoring. *Jurnal Natural Indonesia*, 14(1):95-99.

BAB 4

EKOLOGI AQUATIK

Oleh Agus Widodo

4.1 Dinamika Ekosistem Perairan

Ekosistem perairan merupakan lingkungan yang kompleks yang terdiri dari berbagai komponen seperti organisme hidup, faktor abiotik, dan interaksi antara keduanya. Dinamika ekosistem perairan merupakan studi tentang bagaimana interaksi antara komponen-komponen ini mempengaruhi keseluruhan ekosistem dan bagaimana ekosistem tersebut berevolusi dari waktu ke waktu.

Dinamika ekosistem perairan adalah bidang studi yang penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan dan keberlanjutan sumber daya alam. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang interaksi antara komponen biotik dan abiotik, kita dapat mengembangkan strategi perlindungan dan pengelolaan yang efektif untuk menjaga kelestarian ekosistem perairan (Rasyadi, 2021)

4.1.1 Struktur Ekosistem Perairan

Struktur ekosistem perairan mencakup berbagai komponen yang bekerja bersama untuk menciptakan lingkungan yang seimbang dan berkelanjutan di dalam air. Dengan pemahaman tentang struktur ekosistem perairan, kita dapat lebih memahami bagaimana organisme berinteraksi satu sama lain dan bagaimana lingkungan perairan dipertahankan. Upaya konservasi dan pengelolaan yang baik sangat penting untuk menjaga keseimbangan

ekosistem perairan agar tetap berkelanjutan dan produktif. Berikut adalah beberapa elemen kunci dalam struktur ekosistem perairan (Ariani et al., 2020) :

a) Produsen:

Produsen dalam ekosistem perairan adalah organisme fotosintesis seperti alga, ganggang, dan tumbuhan air lainnya. Mereka menggunakan energi matahari untuk mengubah karbon dioksida dan air menjadi energi yang dapat digunakan oleh organisme lain.

b) Konsumen:

Konsumen dalam ekosistem perairan terdiri dari berbagai jenis organisme yang memakan produsen atau organisme lain. Ini termasuk herbivora yang memakan tumbuhan air, karnivora yang memakan hewan lain, dan omnivora yang memakan keduanya.

c) Dekomposer:

Dekomposer memainkan peran penting dalam mengurai bahan organik yang mati menjadi bahan-bahan sederhana yang dapat digunakan kembali oleh organisme lain. Bakteri, jamur, dan invertebrata seperti cacing tanah adalah contoh dekomposer dalam ekosistem perairan.

d) Bahan organik:

Bahan organik dalam ekosistem perairan termasuk semua materi hidup dan mati yang terbawa oleh air. Ini termasuk daun yang jatuh ke dalam air, sisa-sisa organisme, dan bahan kimia seperti nitrogen dan fosfor.

e) Habitat:

Habitat dalam ekosistem perairan mencakup berbagai lingkungan fisik di dalam air, seperti sungai, danau, rawa, dan laut. Setiap habitat memberikan

kondisi unik untuk berbagai organisme dan mempengaruhi distribusi dan kelimpahan spesies.

f) Koneksi ekosistem:

Ekosistem perairan sering terhubung satu sama lain melalui aliran air, seperti sungai yang mengalir ke laut atau rawa-rawa yang terhubung melalui saluran air. Koneksi ini memungkinkan pertukaran energi, nutrisi, dan organisme antar habitat.

g) Faktor lingkungan:

Faktor lingkungan seperti suhu air, ketersediaan cahaya, kadar oksigen, dan keasaman mempengaruhi struktur dan fungsi ekosistem perairan. Perubahan dalam faktor-faktor ini dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap kehidupan di dalam air.

4.1.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Dinamika Ekosistem

4.1.2.1 Perubahan iklim

Perubahan iklim memiliki dampak yang signifikan pada dinamika ekosistem. Perubahan iklim dapat menyebabkan ketidakstabilan dalam ekosistem dan dapat memiliki dampak yang luas pada keanekaragaman hayati dan keseimbangan ekologis. Oleh karena itu, pemahaman dan tindakan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan menyesuaikan diri dengan perubahan iklim menjadi sangat penting dalam upaya pelestarian ekosistem dan keberlanjutan lingkungan. Berikut adalah beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi dinamika ekosistem sebagai akibat dari perubahan iklim:

1) Suhu:

Peningkatan suhu global dapat mengubah pola suhu harian, musiman, dan tahunan dalam ekosistem. Ini dapat mempengaruhi aktivitas biologis organisme, seperti periode berbunga tanaman, waktu migrasi hewan, dan siklus reproduksi.

2) Curah hujan:

Perubahan pola curah hujan yang disebabkan oleh perubahan iklim dapat mempengaruhi ketersediaan air di ekosistem. Ini dapat mempengaruhi keberadaan dan distribusi organisme, termasuk tumbuhan dan hewan yang bergantung pada pola hujan untuk kehidupan dan reproduksi mereka.

3) Perubahan musim:

Perubahan iklim dapat mempengaruhi panjang dan intensitas musim seperti musim kemarau dan musim hujan. Ini dapat memengaruhi pola pertumbuhan tumbuhan, siklus reproduksi hewan, dan migrasi spesies yang tergantung pada perubahan musiman dalam ekosistem.

4) Tingkat kenaikan permukaan laut:

Pemanasan global menyebabkan pelelehan es di kutub, yang berkontribusi pada kenaikan permukaan laut. Hal ini dapat mengubah habitat pesisir dan ekosistem terestrial yang terkait dengan ekosistem perairan, seperti rawa-rawa dan mangrove.

5) Perubahan ketersediaan nutrisi:

Perubahan suhu, curah hujan, dan pola musim juga dapat mempengaruhi ketersediaan nutrisi di dalam ekosistem. Hal ini dapat berdampak pada produktivitas tumbuhan dan hewan yang bergantung pada nutrisi untuk pertumbuhan dan perkembangan mereka.

6) Perubahan dalam keasaman laut:

Peningkatan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer dapat menyebabkan peningkatan keasaman di laut. Ini dapat mempengaruhi organisme laut yang memiliki cangkang kalsium karbonat, seperti karang dan moluska, karena keasaman yang tinggi dapat mengganggu pembentukan cangkang mereka.

4.1.2.2 Pencemaran: Limbah industri, limbah pertanian, dan limbah domestik

Pencemaran adalah masalah lingkungan yang serius yang terjadi ketika bahan-bahan berbahaya atau zat-zat beracun dilepaskan ke dalam lingkungan. Pengelolaan limbah yang efektif sangat penting untuk mengurangi pencemaran lingkungan oleh limbah industri, pertanian, dan domestik. Ini melibatkan praktik-praktik seperti daur ulang, penggunaan teknologi yang ramah lingkungan, dan pemantauan ketat terhadap pelepasan limbah ke lingkungan. Tiga jenis limbah yang sering menyebabkan pencemaran adalah limbah industri, limbah pertanian, dan limbah domestik.

1) Limbah Industri:

Limbah industri berasal dari proses produksi di pabrik-pabrik atau fasilitas industri. Limbah ini bisa berupa zat kimia beracun, logam berat, atau bahan-bahan berbahaya lainnya. Contoh-contoh limbah industri meliputi limbah cair dari pabrik kimia, limbah gas dari pembangkit listrik, dan limbah padat dari pabrik pengolahan makanan. Pencemaran oleh limbah industri dapat merusak lingkungan dan kesehatan manusia jika tidak dikelola dengan baik.

2) Limbah Pertanian:

Limbah pertanian berasal dari kegiatan pertanian seperti penggunaan pupuk, pestisida, dan limbah organik dari peternakan. Pupuk dan pestisida yang digunakan secara berlebihan dapat mencemari air tanah dan sungai serta merusak ekosistem perairan. Selain itu, limbah organik dari peternakan dapat menghasilkan polutan seperti amonia dan nitrat yang dapat merusak kualitas air dan tanah.

3) Limbah Domestik:

Limbah domestik adalah limbah yang dihasilkan oleh rumah tangga dan tempat-tempat pemukiman. Ini termasuk limbah cair dari kamar mandi, limbah padat seperti sampah rumah tangga, dan limbah bahaya seperti obat-obatan dan bahan kimia rumah tangga. Limbah domestik dapat mencemari air tanah, sungai, dan laut jika tidak dikelola dengan baik. Selain itu, pembakaran sampah domestik juga dapat menghasilkan polusi udara yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan.

4.1.2.3 Perubahan habitat: Deforestasi, urbanisasi, pembangunan bendungan

Perubahan habitat adalah perubahan dalam kondisi alami suatu wilayah yang dapat mempengaruhi ekosistem dan organisme yang hidup di dalamnya. Kesadaran akan dampak perubahan habitat seperti deforestasi, urbanisasi, dan pembangunan bendungan sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan keberlanjutan lingkungan. Upaya konservasi, pengelolaan yang berkelanjutan, dan pemantauan yang ketat diperlukan untuk meminimalkan dampak negatif perubahan habitat terhadap lingkungan dan kehidupan organisme di dalamnya. Tiga

jenis perubahan habitat yang sering terjadi adalah deforestasi, urbanisasi, dan pembangunan bendungan.

1) Deforestasi:

Deforestasi adalah proses penghilangan hutan secara besar-besaran, baik secara ilegal maupun legal. Hal ini sering terjadi karena aktivitas manusia seperti penebangan pohon untuk kayu, pembersihan lahan untuk pertanian atau pembangunan infrastruktur, serta kebakaran hutan yang tidak terkendali. Deforestasi dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan, termasuk hilangnya keanekaragaman hayati, degradasi tanah, erosi, dan perubahan iklim. Organisme yang bergantung pada hutan untuk habitat dan sumber makanan mereka akan terancam oleh deforestasi.

2) Urbanisasi:

Urbanisasi adalah proses peningkatan jumlah penduduk di perkotaan yang menyebabkan pembangunan perkotaan yang cepat. Hal ini sering disertai dengan konversi lahan pertanian atau lahan hijau menjadi pemukiman, jalan raya, dan fasilitas perkotaan lainnya. Urbanisasi dapat menyebabkan fragmentasi habitat, dimana habitat alami terbagi menjadi bagian-bagian yang terpisah oleh infrastruktur perkotaan. Hal ini dapat mengisolasi populasi hewan dan tumbuhan serta mengganggu migrasi dan interaksi antar spesies. Urbanisasi juga dapat menyebabkan polusi udara, polusi air, dan peningkatan suhu yang dapat mempengaruhi keseimbangan ekosistem.

3) Pembangunan Bendungan:

Pembangunan bendungan adalah proses konstruksi bendungan atau waduk untuk mengontrol aliran air sungai dan memproduksi energi hidroelektrik. Pembangunan bendungan sering

menyebabkan perubahan signifikan dalam lingkungan air, termasuk pembentukan waduk yang besar dan perubahan aliran air. Hal ini dapat mempengaruhi ekosistem sungai danau, serta spesies yang bergantung pada ekosistem tersebut. Perubahan habitat akibat pembangunan bendungan dapat mencakup penurunan populasi ikan migrasi, perubahan pola banjir, dan perubahan kualitas air.

4.1.2.4 Spesies invasive : Organisme asing yang memasuki ekosistem dan mengganggu keseimbangan alami.

Spesies invasif adalah organisme asing yang memasuki suatu ekosistem yang bukan habitat aslinya dan mengganggu keseimbangan alami lingkungan tersebut. Organisme ini dapat berasal dari berbagai tempat, baik secara sengaja maupun tidak sengaja dibawa oleh manusia, seperti melalui perdagangan internasional, transportasi, atau pelepasan hewan peliharaan yang tidak sengaja. Ketika spesies invasif berhasil menetap dan berkembang biak di habitat baru, mereka dapat mengancam keberadaan spesies asli, merusak ekosistem, dan mengganggu berbagai fungsi ekologis.

Spesies invasif sering kali memiliki keunggulan kompetitif yang memungkinkan mereka menyebar dengan cepat dan mengambil alih sumber daya yang sebelumnya dimanfaatkan oleh spesies asli. Contoh-contoh spesies invasif meliputi tanaman invasif seperti tanaman liar yang merusak habitat asli, hama yang merusak tanaman pertanian, dan hewan invasif seperti hewan pemangsa atau hewan yang membawa penyakit baru yang dapat mengancam keberlangsungan spesies asli.

Dampak dari spesies invasif bisa sangat merugikan, termasuk penurunan keanekaragaman hayati, degradasi habitat, penurunan kualitas ekosistem, dan kerugian ekonomi bagi masyarakat yang bergantung pada sumber daya alam yang terganggu. Selain itu, spesies invasif juga dapat menjadi vektor penyakit yang mengancam kesehatan manusia dan hewan.

Untuk mengatasi masalah spesies invasif, diperlukan tindakan pengendalian dan manajemen yang efektif. Ini termasuk pemantauan terhadap pergerakan dan populasi spesies invasif, pengendalian penyebaran melalui tindakan pengawasan dan pembatasan, serta upaya pembersihan dan restorasi habitat yang terkena dampak. Kesadaran publik juga penting dalam mencegah penyebaran spesies invasif dengan cara mengurangi perpindahan organisme yang tidak sengaja, dan memperhatikan praktik-praktik pertanian, perikanan, dan peternakan yang berkelanjutan untuk mengurangi risiko masuknya spesies invasif baru ke habitat alami.

4.1.2.5 Respons Ekosistem Terhadap Perubahan

Respons ekosistem terhadap perubahan adalah reaksi atau tanggapan yang ditunjukkan oleh ekosistem terhadap perubahan lingkungan yang terjadi. Ekosistem memiliki kemampuan untuk beradaptasi terhadap perubahan-perubahan tersebut, namun tingkat responsnya dapat bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti tingkat perubahan, keberagaman hayati, dan keadaan ekosistem itu sendiri. Pemahaman tentang respons ekosistem terhadap perubahan lingkungan penting untuk mengembangkan strategi mitigasi dan adaptasi yang tepat guna menjaga keberlangsungan ekosistem dan meminimalkan dampak

negatifnya. Ini juga menekankan pentingnya pelestarian keanekaragaman hayati dan kesehatan ekosistem secara keseluruhan. Beberapa respons ekosistem terhadap perubahan antara lain:

a) Perubahan Keanekaragaman Hayati:

Ekosistem dapat mengalami perubahan dalam keanekaragaman hayati sebagai respons terhadap perubahan lingkungan. Hal ini dapat mencakup peningkatan atau penurunan keanekaragaman spesies, migrasi spesies baru, atau bahkan kepunahan spesies yang tidak dapat beradaptasi dengan perubahan lingkungan.

b) Perubahan Struktur Habitat:

Ekosistem dapat mengubah struktur habitatnya sebagai respons terhadap perubahan lingkungan. Misalnya, perubahan suhu atau pola curah hujan dapat menyebabkan perubahan dalam komposisi tumbuhan atau struktur lahan, seperti perubahan dari hutan menjadi padang rumput atau sebaliknya.

c) Pergeseran Distribusi Spesies:

Perubahan lingkungan dapat menyebabkan pergeseran distribusi spesies, di mana spesies-spesies tertentu dapat bermigrasi ke wilayah-wilayah baru yang lebih sesuai dengan kondisi lingkungan yang baru. Hal ini dapat mempengaruhi interaksi antar spesies dan struktur ekosistem secara keseluruhan.

d) Adaptasi Organisme:

Organisme-organisme dalam ekosistem dapat menunjukkan adaptasi terhadap perubahan lingkungan yang terjadi. Misalnya, perubahan suhu dapat memicu peningkatan toleransi terhadap suhu pada spesies tertentu, atau perubahan pola makan pada hewan sebagai respons terhadap perubahan ketersediaan sumber makanan.

e) Keseimbangan Ekosistem:

Respons ekosistem terhadap perubahan juga dapat mencakup upaya untuk mempertahankan keseimbangan ekosistem. Misalnya, dalam menghadapi perubahan lingkungan yang ekstrem, ekosistem dapat mengalami proses suksesi atau regenerasi untuk memulihkan keseimbangan alaminya.

- a. Adaptasi organisme: Perubahan perilaku, morfologi, atau fisiologi untuk bertahan dalam kondisi yang berubah.
- b. Gangguan ekosistem: Pergeseran komunitas, penurunan keanekaragaman hayati, kematian massal.
- c. Restorasi ekosistem: Upaya untuk memulihkan ekosistem yang terganggu melalui rehabilitasi habitat dan pengendalian spesies invasif.

4.1.2.6 Studi Kasus

a) Eutrofikasi dan penurunan kualitas air di Danau Toba

Eutrofikasi adalah proses alami atau buatan manusia di mana danau, rawa, atau perairan lainnya menjadi kaya akan nutrisi, terutama nitrogen dan fosfor. Penurunan kualitas air di Danau Toba terkait dengan masalah eutrofikasi yang terjadi di sana. Di Danau Toba, peningkatan jumlah nutrisi seperti fosfor dan nitrogen dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk limbah pertanian, limbah domestik, dan limbah industri. Ketika nutrisi ini masuk ke dalam danau, mereka memicu pertumbuhan alga yang berlebihan, yang disebut bloom alga. Ini dapat menyebabkan berbagai masalah, termasuk:

1. Penurunan Kualitas Air:

Pertumbuhan alga yang berlebihan dapat menyebabkan air danau menjadi keruh dan

berubah warna menjadi hijau atau kecoklatan. Ini mengurangi kualitas air dan membuatnya tidak cocok untuk berbagai kegiatan seperti berenang atau memancing.

2. Kekurangan Oksigen:

Saat alga mati dan terurai oleh bakteri dekomposer, proses ini membutuhkan banyak oksigen. Hal ini dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut di dalam air, yang dapat mengancam kehidupan ikan dan organisme air lainnya.

3. Kematian Organisme Air:

Kekurangan oksigen dan toksin yang dihasilkan oleh bloom alga dapat menyebabkan kematian massal ikan dan organisme air lainnya. Ini mengganggu rantai makanan dan mengurangi keanekaragaman hayati di danau.

4. Gangguan Sumber Daya Air:

Eutrofikasi dapat mengganggu sumber daya air danau, termasuk pasokan air bersih untuk konsumsi manusia dan kegiatan pertanian. Selain itu, tumbuhan air seperti eceng gondok dapat tumbuh secara berlebihan, menyumbat saluran air dan mengganggu navigasi kapal.

Penanganan masalah eutrofikasi di Danau Toba memerlukan upaya yang berkelanjutan dan terkoordinasi, termasuk pengelolaan limbah yang lebih baik, perlindungan vegetasi alami di sekitar danau, dan penerapan praktik pertanian yang ramah lingkungan. Dengan tindakan yang tepat, kualitas air di Danau Toba dapat dipulihkan untuk mendukung kehidupan dan keberlanjutan lingkungan.

b) Dampak pemanasan global terhadap terumbu karang di Great Barrier Reef.

Dampak pemanasan global terhadap terumbu karang di Great Barrier Reef sangat signifikan. Dampak pemanasan global terhadap Great Barrier Reef menunjukkan pentingnya tindakan global untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan melindungi ekosistem terumbu karang. Upaya-upaya konservasi yang komprehensif dan terkoordinasi diperlukan untuk memastikan keberlanjutan dan kelestarian Great Barrier Reef serta ekosistem terumbu karang di seluruh dunia. Berikut adalah beberapa dampak utama:

1) Peningkatan suhu air:

Pemanasan global menyebabkan peningkatan suhu air laut, yang dapat menyebabkan terumbu karang mengalami pemutihan. Pemutihan terjadi ketika terumbu karang kehilangan alga simbiotik mereka (zooxanthellae) yang memberikan warna dan nutrisi. Jika suhu terus meningkat, pemutihan yang berulang dapat mengakibatkan kematian massal terumbu karang.

2) Acidifikasi laut:

Penyerapan karbon dioksida oleh lautan menyebabkan peningkatan keasaman air laut. Tingkat keasaman yang lebih tinggi dapat menyebabkan terumbu karang mengalami kesulitan dalam membangun cangkang kalsium karbonat mereka, yang mengancam integritas struktur terumbu karang.

3) Badai dan cuaca ekstrem:

Perubahan iklim juga dapat meningkatkan intensitas badai dan cuaca ekstrem, yang dapat merusak fisik terumbu karang dan memperburuk kondisinya.

4) Peningkatan intensitas pemutihan:

Peningkatan suhu air laut dan keasaman air laut yang tinggi dapat meningkatkan frekuensi dan intensitas pemutihan terumbu karang. Ini dapat mengganggu ekosistem terumbu karang secara keseluruhan dan mengancam keberlangsungan hidup spesies yang bergantung padanya.

5) Perubahan suhu dan pola curah hujan:

Perubahan iklim juga dapat mempengaruhi pola suhu dan curah hujan, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi keseimbangan ekosistem terumbu karang dan distribusi spesies yang ada di sana.

6) Ancaman terhadap keanekaragaman hayati:

Terumbu karang adalah salah satu ekosistem paling beragam di bumi, menyediakan habitat bagi berbagai spesies laut. Ancaman yang dihadapi oleh terumbu karang dapat mengancam keberlangsungan hidup banyak spesies ikan, invertebrata, dan organisme lain yang bergantung padanya.

c) Efek limbah industri terhadap Sungai Citarum.

Kasus efek limbah industri terhadap Sungai Citarum merupakan salah satu masalah lingkungan yang serius di Indonesia. Berikut adalah beberapa dampak dari limbah industri terhadap Sungai Citarum:

1. Pencemaran Air

Limbah industri, termasuk limbah dari pabrik-pabrik tekstil, pabrik kertas, dan pabrik-pabrik lainnya, seringkali dibuang langsung ke Sungai Citarum tanpa pengolahan yang memadai. Limbah ini mengandung bahan kimia berbahaya seperti logam berat, zat pewarna, dan bahan kimia beracun lainnya yang mencemari air sungai.

2. Kerusakan Ekosistem:

Pencemaran air oleh limbah industri dapat menyebabkan kerusakan ekosistem Sungai Citarum. Organisme air seperti ikan, krustasea, dan makhluk hidup lainnya yang hidup di sungai dapat terancam karena paparan bahan kimia beracun dalam air.

3. Gangguan Terhadap Kesehatan Masyarakat:

Pencemaran air Sungai Citarum dapat berdampak negatif pada kesehatan masyarakat yang menggunakan air sungai tersebut untuk keperluan sehari-hari seperti mandi, mencuci, dan memasak. Bahan kimia beracun dalam air dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan seperti gangguan pernapasan, masalah kulit, dan penyakit lainnya.

4. Dampak Sosial dan Ekonomi:

Sungai Citarum juga memiliki peran penting dalam menyokong kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat sekitar. Pencemaran sungai ini dapat mengganggu mata pencaharian masyarakat yang bergantung pada Sungai Citarum untuk kegiatan seperti pertanian, perikanan, dan pariwisata.

5. Pencemaran Tanah dan Udara:

Limbah industri yang mencemari Sungai Citarum tidak hanya mempengaruhi kualitas air, tetapi juga dapat menyebabkan pencemaran tanah dan udara di sekitarnya. Limbah yang terbawa oleh air sungai dapat mencemari tanah di sepanjang sungai dan mengganggu

pertanian serta kehidupan tanaman. Selain itu, bahan kimia beracun juga dapat menguap ke udara dan mencemari udara di sekitarnya.

Penanganan masalah pencemaran Sungai Citarum memerlukan upaya bersama dari pemerintah, industri, dan masyarakat untuk mengurangi pembuangan limbah industri yang tidak terkontrol dan meningkatkan sistem pengolahan limbah. Langkah-langkah pengawasan yang ketat dan penegakan hukum yang tegas juga diperlukan untuk mengatasi masalah ini dan menjaga keberlanjutan Sungai Citarum sebagai sumber air yang penting bagi masyarakat dan lingkungan.

4.2 Prinsip Ekologi dalam Perencanaan Kawasan Pesisir

Kawasan pesisir adalah wilayah yang memiliki nilai ekologis yang tinggi karena menjadi tempat bertemunya ekosistem darat dan laut. Perencanaan kawasan pesisir yang baik harus mempertimbangkan prinsip-prinsip ekologi untuk menjaga keberlanjutan lingkungan dan meminimalkan dampak negatif terhadap ekosistem (Horoepoetri et al., 2003).

4.2.1 Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati mengacu pada beragamnya bentuk kehidupan yang ada di bumi, termasuk berbagai jenis organisme, flora, dan fauna. Ini mencakup keragaman genetik, spesies, dan ekosistem yang berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekologis dan fungsi ekosistem. Keanekaragaman hayati memberikan berbagai manfaat bagi manusia, termasuk penyediaan sumber daya

alam seperti makanan, obat-obatan, dan bahan baku industri.

Selain itu, keanekaragaman hayati juga mendukung fungsi-fungsi ekosistem seperti siklus air, produksi oksigen, dan pengendalian hama alami. Namun, keanekaragaman hayati saat ini menghadapi berbagai ancaman, termasuk kerusakan habitat, perubahan iklim, polusi, dan aktivitas manusia lainnya. Oleh karena itu, perlindungan dan konservasi keanekaragaman hayati menjadi sangat penting untuk menjaga keberlangsungan kehidupan di bumi. Keanekaragaman hayati ini meliputi:

1. Keanekaragaman genetik:

Ini merujuk pada variasi gen dalam populasi spesies yang memungkinkan adaptasi terhadap perubahan lingkungan dan memungkinkan evolusi.

2. Keanekaragaman spesies:

Ini mencakup jumlah dan jenis spesies yang ada di suatu wilayah atau ekosistem. Semakin banyak spesies yang ada, semakin tinggi tingkat keanekaragaman hayati.

3. Keanekaragaman ekosistem:

Ini mengacu pada berbagai jenis ekosistem yang ada, seperti hutan, padang rumput, sungai, dan lautan. Setiap ekosistem memiliki spesies unik dan peran penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan.

4.2.2 Ketergantungan Ekosistem

Ketergantungan ekosistem mengacu pada hubungan timbal balik antara berbagai organisme dan lingkungannya dalam suatu ekosistem. Di dalam ekosistem, setiap organisme dan elemen lingkungan saling memengaruhi dan bergantung satu sama lain untuk kelangsungan hidup dan

kesejahteraannya. Ketergantungan ekosistem mengilustrasikan betapa kompleksnya dan rapatnya hubungan antara semua komponen dalam ekosistem. Keseimbangan dan keberlangsungan hidup ekosistem bergantung pada pemahaman dan pengelolaan yang bijak terhadap ketergantungan ini. Beberapa contoh ketergantungan ekosistem termasuk:

1. Hubungan pakan-mangsa

Di dalam rantai makanan, organisme pemangsa (predator) bergantung pada organisme mangsa untuk mendapatkan makanan, sementara organisme mangsa bergantung pada pemangsa untuk mengendalikan populasi mereka. Ketergantungan ini membantu menjaga keseimbangan populasi dalam ekosistem.

2. Siklus nutrisi

Nutrien seperti karbon, nitrogen, dan fosfor berperan penting dalam proses kehidupan di dalam ekosistem. Organisme produsen seperti tumbuhan menggunakan nutrisi-nutrien ini untuk tumbuh dan berkembang. Kemudian, ketika organisme ini dimakan oleh organisme konsumen dan dekomposer, nutrisi tersebut kembali ke lingkungan dalam siklus nutrisi yang berkelanjutan.

3. Simbiosis

Simbiosis adalah hubungan timbal balik antara dua spesies yang berbeda di mana keduanya mendapatkan manfaat. Contohnya adalah hubungan mutualisme di mana kedua spesies saling menguntungkan, komensalisme di mana satu spesies mendapat manfaat sementara yang lainnya tidak terpengaruh, dan parasitisme di mana satu spesies mendapat manfaat sementara yang lainnya merugi.

4. Keseimbangan ekosistem

Ketergantungan antarorganisme dan dengan lingkungan membantu menjaga keseimbangan ekosistem. Ketika satu komponen ekosistem terganggu, misalnya karena perubahan iklim atau aktivitas manusia, hal ini dapat berdampak pada organisme lain dan menyebabkan gangguan ekologis yang lebih luas.

4.3.3 Pelestarian Habitat

Pelestarian habitat adalah upaya untuk melindungi dan mempertahankan lingkungan alami tempat tinggal berbagai jenis organisme. Ini melibatkan tindakan untuk menjaga keberadaan, keutuhan, dan keberlanjutan habitat alami, seperti hutan, savana, terumbu karang, dan lain-lain, serta ekosistem yang ada di dalamnya. Penerapan prinsip-prinsip ekologi dalam perencanaan kawasan pesisir menjadi kunci penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem dan kesejahteraan masyarakat yang tinggal di sekitarnya. Dengan memahami dan menghormati proses alami ekosistem pesisir, kita dapat menciptakan lingkungan yang sehat dan produktif bagi generasi mendatang. Beberapa langkah yang dapat dilakukan untuk melestarikan habitat meliputi:

1. Penetapan Kawasan Lindung

Menciptakan kawasan lindung seperti taman nasional, cagar alam, dan kawasan konservasi lainnya untuk melindungi habitat alami dan keanekaragaman hayati di dalamnya dari aktivitas manusia yang merusak.

2. Rehabilitasi Habitat

Melakukan upaya untuk memulihkan atau memperbaiki habitat yang telah rusak atau terdegradasi,

seperti melakukan reboisasi di hutan yang gundul atau restorasi terumbu karang yang terancam.

3. Pengelolaan Sumber Daya Alam

Mengelola penggunaan sumber daya alam secara berkelanjutan dengan memperhatikan dampaknya terhadap habitat alami, seperti mengatur pemanenan kayu secara berkelanjutan atau menetapkan kuota penangkapan ikan yang tidak merusak habitat laut.

4. Pendidikan dan Kesadaran Masyarakat

Menedukasi masyarakat tentang pentingnya pelestarian habitat dan keanekaragaman hayati serta mengajak mereka untuk terlibat dalam upaya konservasi, misalnya melalui program penanaman pohon atau membersihkan pantai.

5. Kolaborasi antar Pihak

Melibatkan berbagai pihak termasuk pemerintah, LSM, masyarakat lokal, dan sektor swasta dalam upaya pelestarian habitat untuk mencapai hasil yang lebih efektif dan berkelanjutan. Pelestarian habitat penting karena habitat yang sehat dan beragam mendukung kehidupan berbagai jenis organisme serta menjaga keseimbangan ekologis dan fungsi ekosistem. Selain itu, habitat alami juga memberikan manfaat langsung bagi manusia, seperti menyediakan sumber daya alam, air bersih, udara bersih, dan tempat rekreasi. Dengan menjaga habitat alami, kita juga menjaga keberlangsungan hidup kita sendiri serta generasi mendatang.

- a. *Mengidentifikasi dan melindungi habitat-habitat penting seperti terumbu karang, padang lamun, hutan mangrove, dan hutan bakau.*

Mengidentifikasi dan melindungi habitat-habitat penting seperti terumbu karang, padang lamun, hutan mangrove, dan hutan bakau merupakan langkah penting dalam pelestarian keanekaragaman hayati dan ekosistem laut serta pesisir. Melindungi habitat-habitat penting seperti terumbu karang, padang lamun, hutan mangrove, dan hutan bakau sangat penting untuk menjaga keberagaman hayati laut dan pesisir serta fungsi ekosistem yang mendukung kehidupan manusia dan organisme laut lainnya. Upaya perlindungan ini juga bertujuan untuk memastikan keberlangsungan ekosistem ini bagi generasi mendatang. Berikut adalah penjelasan mengenai cara mengidentifikasi dan melindungi masing-masing habitat tersebut:

1. Terumbu Karang

- **Identifikasi:** Terumbu karang merupakan ekosistem yang sangat produktif dan beragam, terdiri dari koloni karang, ikan-ikan, dan berbagai organisme laut lainnya. Identifikasi terumbu karang dilakukan dengan survei lapangan menggunakan teknik penyelaman dan citra satelit untuk memetakan lokasi terumbu karang dan menilai kesehatannya.
- **Perlindungan:** Perlindungan terumbu karang dilakukan dengan mendirikan kawasan konservasi laut seperti taman laut, mengatur kegiatan wisata yang ramah terhadap lingkungan, dan menerapkan peraturan yang melarang penggunaan alat tangkap yang merusak terumbu karang.

2. Padang Lamun

- Identifikasi: Padang lamun merupakan padang rumput laut yang tumbuh di perairan dangkal. Identifikasi padang lamun biasanya dilakukan dengan survei lapangan menggunakan teknik penyelaman dan pemetaan secara akustik atau citra satelit.
- Perlindungan: Perlindungan padang lamun melibatkan pengendalian pencemaran dan kerusakan fisik di perairan, mengatur kegiatan pesisir yang dapat merusak padang lamun seperti penambangan pasir, serta membatasi aktivitas yang menggunakan alat tangkap yang dapat merusak lamun.

3. Hutan Mangrove

- Identifikasi: Hutan mangrove merupakan hutan yang tumbuh di wilayah pesisir yang tergenang air pasang. Identifikasi hutan mangrove dilakukan dengan pemetaan menggunakan citra satelit dan survei lapangan untuk menentukan distribusi dan keberagaman jenis mangrove.
- Perlindungan: Perlindungan hutan mangrove dilakukan dengan mendirikan kawasan konservasi mangrove, mengatur pemanfaatan sumber daya hutan secara berkelanjutan, serta menghentikan aktivitas yang merusak seperti penggundulan hutan dan reklamasi pantai.

4. Hutan Bakau

- Identifikasi: Hutan bakau sering kali merupakan bagian dari ekosistem mangrove dan tumbuh di daerah pesisir yang tergenang air pasang. Identifikasi hutan bakau dilakukan dengan survei lapangan dan pemetaan menggunakan citra satelit

untuk mengetahui distribusi dan keberagaman jenis bakau.

- Perlindungan: Perlindungan hutan bakau melibatkan pengaturan aktivitas pesisir yang dapat merusak, seperti pembangunan infrastruktur pantai dan pembalakan liar. Selain itu, juga perlu diterapkan program restorasi untuk memulihkan hutan bakau yang telah rusak.

b. Mencegah degradasi habitat melalui pembatasan aktivitas manusia yang merusak seperti reklamasi pantai, penangkapan ikan yang merusak, dan polusi.

Mencegah degradasi habitat melalui pembatasan aktivitas manusia yang merusak seperti reklamasi pantai, penangkapan ikan yang merusak, dan polusi merupakan langkah penting dalam pelestarian keanekaragaman hayati dan keseimbangan ekosistem. Selain pembatasan aktivitas tersebut, upaya penyuluhan dan edukasi kepada masyarakat juga penting untuk meningkatkan kesadaran akan pentingnya menjaga habitat laut dan pesisir. Melalui partisipasi aktif masyarakat dan kerjasama antara pemerintah, LSM, dan sektor swasta, dapat diwujudkan upaya perlindungan yang efektif terhadap habitat laut dan pesisir untuk keberlangsungan ekosistem dan kesejahteraan manusia. Berikut adalah penjelasan mengenai cara mencegah degradasi habitat melalui pembatasan aktivitas tersebut:

1. Reklamasi Pantai

- Pembatasan: Untuk mencegah reklamasi pantai, pemerintah dapat mengeluarkan kebijakan atau regulasi yang melarang atau membatasi kegiatan reklamasi pantai di wilayah tertentu. Penetapan kawasan konservasi pantai yang tidak boleh

direklamasi juga bisa dilakukan sebagai langkah pembatasan (Rellua, 2013).

- Pengawasan: Perlu dilakukan pengawasan ketat terhadap pelaksanaan regulasi tersebut, termasuk pemantauan aktivitas pembangunan di sekitar pantai serta penegakan hukum terhadap pelanggar.

2. Penangkapan Ikan yang Merusak

- Pembatasan: Pembatasan penangkapan ikan yang merusak dapat dilakukan dengan menerapkan kuota penangkapan yang disesuaikan dengan keberlanjutan populasi ikan, membatasi penggunaan alat tangkap yang merusak seperti trawl dan bom ikan, serta mengatur ukuran minimum ikan yang boleh ditangkap.
- Pengawasan: Diperlukan pengawasan yang ketat terhadap kegiatan penangkapan ikan, termasuk patroli laut dan penggunaan teknologi pemantauan seperti sistem pelacakan ikan (VMS) dan penjagaan wilayah maritim.

3. Polusi

- Pembatasan: Untuk mencegah polusi, diperlukan regulasi yang mengatur pembuangan limbah industri, domestik, dan pertanian ke perairan laut serta penggunaan bahan kimia berbahaya yang dapat mencemari habitat laut.
- Pengawasan: Penting untuk melakukan pengawasan terhadap industri dan aktivitas manusia lainnya yang berpotensi mencemari perairan laut, serta memberlakukan sanksi kepada pelanggar.

4. Konservasi Sumber Daya:
 - a. Mengelola penggunaan sumber daya alam seperti hasil perikanan, tanaman obat, dan kayu bakau secara berkelanjutan untuk memastikan keberlanjutan ekonomi dan ekologi.
 - b. Menghindari overexploitasi sumber daya yang dapat mengancam keberlanjutan ekosistem.
5. Pengelolaan Air dan Limbah:
 - a. Mengelola kualitas air laut dan sungai untuk mencegah pencemaran dan mempertahankan produktivitas ekosistem.
 - b. Mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya dan mengimplementasikan sistem pengolahan limbah yang efektif.
6. Partisipasi Masyarakat
 - a. Melibatkan masyarakat lokal dalam proses perencanaan dan pengelolaan kawasan pesisir untuk memastikan keberlanjutan program-program tersebut.
 - b. Mendorong kesadaran dan tanggung jawab masyarakat terhadap lingkungan hidup melalui pendidikan dan partisipasi aktif dalam kegiatan konservasi.

c. Studi Kasus

1. Pengelolaan Taman Nasional Bunaken di Sulawesi Utara

Taman Nasional Bunaken di Sulawesi Utara adalah salah satu kawasan konservasi laut yang terkenal di Indonesia. Kawasan ini terletak di bagian utara Pulau Sulawesi dan dikelola oleh Badan Pengelola Taman Nasional Bunaken (Balai Taman Nasional Bunaken) bersama dengan berbagai pihak terkait lainnya. Pengelolaan Taman Nasional Bunaken

bertujuan untuk melindungi keanekaragaman hayati laut yang luar biasa di wilayah tersebut (Taghulih et al., 2019). Beberapa langkah yang diambil untuk menjaga kelestarian Taman Nasional Bunaken meliputi :

a. Pengawasan dan Penegakan Hukum

Balai Taman Nasional Bunaken melakukan pengawasan secara rutin di perairan taman nasional untuk mencegah kegiatan ilegal seperti penangkapan ikan yang merusak, penggunaan bahan peledak, dan aktivitas lain yang dapat merusak ekosistem laut.

b. Pendidikan dan Kesadaran Masyarakat

Melakukan kegiatan penyuluhan dan edukasi kepada masyarakat lokal, wisatawan, dan pihak terkait lainnya tentang pentingnya menjaga kelestarian Taman Nasional Bunaken. Ini dilakukan untuk meningkatkan kesadaran akan keberagaman hayati laut serta mendorong perilaku yang ramah lingkungan.

c. Pengelolaan Wisata

Mengatur dan mengawasi kegiatan wisata di dalam Taman Nasional Bunaken agar tidak merusak ekosistem laut, seperti melakukan pemantauan kapal wisata, menetapkan zona-zona larangan, dan membatasi jumlah pengunjung untuk mengurangi tekanan terhadap lingkungan.

d. Konservasi dan Restorasi Ekosistem

Melakukan program-program konservasi dan restorasi ekosistem laut seperti penanaman terumbu karang, pemulihan padang lamun, dan rehabilitasi habitat laut lainnya untuk

memulihkan ekosistem yang telah rusak akibat aktivitas manusia.

e. Kerjasama dengan Pihak Terkait

Berkolaborasi dengan berbagai pihak terkait seperti pemerintah daerah, lembaga penelitian, LSM, dan komunitas lokal untuk mendukung pengelolaan dan pelestarian Taman Nasional Bunaken.

Pengelolaan Taman Nasional Bunaken membutuhkan kerja sama yang kuat antara pemerintah, masyarakat lokal, dan berbagai pemangku kepentingan lainnya. Upaya untuk menjaga kelestarian Taman Nasional Bunaken merupakan investasi jangka panjang untuk memastikan keberlanjutan ekosistem laut yang kaya dan penting bagi kehidupan manusia dan lingkungan sekitarnya.

2. Program konservasi hutan mangrove di Teluk Bintuni, Papua Barat

Teluk Bintuni, terletak di Provinsi Papua Barat, Indonesia, merupakan salah satu daerah yang kaya akan hutan mangrove yang penting untuk keberlangsungan ekosistem pesisir dan sumber daya ikan lokal. Program konservasi hutan mangrove di Teluk Bintuni telah menjadi sorotan karena berbagai inisiatif yang dilakukan untuk menjaga kelestarian hutan mangrove dan manfaat ekologisnya. Berikut adalah beberapa poin penting terkait dengan program konservasi hutan mangrove di Teluk Bintuni:

a. Penetapan Kawasan Lindung

Pemerintah setempat telah menetapkan sebagian besar hutan mangrove di Teluk Bintuni sebagai kawasan lindung atau kawasan

konservasi untuk melindungi ekosistem tersebut dari aktivitas yang merusak.

b. Partisipasi Masyarakat Lokal:

Program konservasi melibatkan partisipasi aktif dari masyarakat lokal, termasuk suku-suku pesisir yang tradisional, dalam pengelolaan dan pemeliharaan hutan mangrove. Hal ini dilakukan melalui pembentukan kelompok-kelompok masyarakat yang bertanggung jawab atas pemantauan dan pemeliharaan hutan mangrove.

c. Penyuluhan dan Pendidikan:

Program ini juga mencakup kegiatan penyuluhan dan pendidikan kepada masyarakat tentang pentingnya hutan mangrove, manfaatnya bagi lingkungan dan kehidupan sehari-hari, serta cara menjaga dan mengelola hutan mangrove secara berkelanjutan.

d. Rehabilitasi dan Peremajaan:

Selain melindungi hutan mangrove yang ada, program ini juga mencakup kegiatan rehabilitasi dan peremajaan hutan mangrove yang telah rusak akibat aktivitas manusia atau bencana alam.

e. Pengembangan Ekowisata:

Salah satu pendekatan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya konservasi hutan mangrove adalah melalui pengembangan ekowisata yang berkelanjutan. Hal ini dapat memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat lokal sambil tetap memperhatikan pelestarian lingkungan.

f. Pengawasan dan Penegakan Hukum:

Program ini juga melibatkan pengawasan ketat terhadap aktivitas ilegal yang dapat merusak hutan mangrove, seperti penebangan liar atau penangkapan ikan yang tidak berkelanjutan. Tindakan hukum diterapkan terhadap pelanggar-pelanggar tersebut.

Melalui berbagai inisiatif ini, Program Konservasi Hutan Mangrove di Teluk Bintuni, Papua Barat, berupaya untuk memastikan keberlanjutan ekosistem mangrove serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat lokal yang bergantung pada sumber daya alam tersebut (Syapriillah, 2016).

3. Penanganan limbah plastik di Pulau Bali untuk menjaga kelestarian ekosistem laut.

Pulau Bali, sebagai salah satu tujuan wisata terkenal di Indonesia, telah menghadapi tantangan serius terkait masalah limbah plastik yang berdampak buruk pada ekosistem laut di sekitarnya. Namun, upaya penanganan limbah plastik di Pulau Bali telah menjadi sorotan karena berbagai langkah yang diambil untuk menjaga kelestarian ekosistem laut, antara lain:

a. Kampanye Kesadaran Masyarakat:

Pemerintah setempat dan organisasi non-pemerintah (NGO) telah meluncurkan kampanye-kampanye kesadaran masyarakat tentang bahaya limbah plastik bagi lingkungan laut. Ini dilakukan melalui program-program edukasi di sekolah-sekolah, acara-acara publik, dan media sosial untuk meningkatkan kesadaran akan pentingnya menjaga lingkungan laut yang bersih (Nasution, 2015)

b. **Pengurangan Penggunaan Plastik Sekali Pakai**

Langkah-langkah telah diambil untuk mengurangi penggunaan plastik sekali pakai di Pulau Bali, termasuk dengan melarang penggunaan kantong plastik di beberapa toko dan mempromosikan penggunaan kantong belanja yang ramah lingkungan.

c. **Program Daur Ulang**

Program-program daur ulang telah diperkenalkan untuk mengelola limbah plastik dengan lebih efektif. Ini termasuk pendirian pusat daur ulang dan pengumpulan limbah plastik dari pantai-pantai dan sungai-sungai sekitar Pulau Bali (Hasibuan, 2023).

d. **Kerjasama dengan Industri:**

Pemerintah dan organisasi lingkungan bekerja sama dengan industri makanan, minuman, dan perhotelan untuk mengurangi penggunaan plastik dalam produk-produk mereka. Ini termasuk penggunaan alternatif ramah lingkungan seperti kemasan berbahan daur ulang atau bahan alami (Masitho et al., 2019).

e. **Pembersihan Pantai dan Laut**

Kegiatan pembersihan pantai dan laut secara rutin diadakan oleh sukarelawan, komunitas lokal, dan organisasi lingkungan untuk menghapus limbah plastik yang sudah ada di lingkungan laut sekitar Pulau Bali. Melalui upaya-upaya ini, Pulau Bali berupaya untuk mengatasi masalah limbah plastik dan menjaga kelestarian ekosistem laut yang menjadi salah satu daya tarik utama wisata pulau tersebut. Kolaborasi antara

pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta sangat penting untuk mencapai tujuan ini dalam jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariani, S., Idrus, A. Al, Japa, L., & Santoso, D. (2020). Struktur Komunitas Makroalga Sebagai Indikator Ekologi Ekosistem Perairan Pada Kawasan Konservasi Laut Daerah Di Gili Sulat Lombok Timur. *Jurnal Biologi Tropis*, 20(1), 132–138. <https://doi.org/10.29303/jbt.v20i1.1690>
- Ayorbaba, R., Beroperai, R. A., Bonai, H. M., Rahanra, R. M., Rini, K. :, & AnjhelNovember2, A. B. (2021). Komponen Biotik & Abiotik Pada Ekosistem Lamun Di Pulau Batu Distrik Kepulauan Ambai Biotic and Abiotic Components of Seagrass Ecosystems in Batu Island, Ambai Archipelago District. *UNES Journal of Scientech Research*, 6(2), 130–138. <https://ojs.ekasakti.org/index.php/UJSR/>
- Hasibuan, M. R. R. (2023). Manfaat Daur Ulang Sampah Organik Dan Anorganik Untuk Kesehatan Lingkungan. *Jurnal Ilmiah Lingkungan* , 2(3), 1–11.
- Horoepoetri, Arimbi, & Achmad Santosa. (2003). *Peran Serta Masyarakat Dalam. Pengelolaan Lingkungan*. 10.
- Masitho, D., R, M., Brata, B., & Suherman, D. (2019). Analisa Kualitas Limbah Cair Industri Tahu dan Strategi Pengelolaan Penanganan Limbah Cair Industri Tahu Wilayah Kabupaten Rejang Lebong. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 10(2), 410–415.
- Nasution, R. S. (2015). Berbagai Cara Penanggulangan Limbah Plastik. *Elkawanie: Journal of Islamic Science and Technology*, 1(1), 97–104. <https://jurnal.ar-raniry.ac.id/index.php/elkawanie/article/view/522>

- Rellua, O. (2013). Proses Perizinan Dan Dampak Lingkungan Terhadap Kegiatan Reklamasi Pantai. *Lex Administratum*, 1(2), 158–167.
- Sujud Warno Utomo, S. R. R. (2015). Pengertian, Ruang Lingkup Ekologi dan Ekosistem. *Modul 1*, 1–31.
- Syaprillah, A. (2016). Penegakan Hukum Administrasi Lingkungan Melalui Instrumen Pengawasan. *Bina Hukum Lingkungan*, 1(1), 99–113. <https://doi.org/10.24970/jbhl.v1n1.8>
- Taghulihi, K. E., Kumenaung, A. G., & Tumangkeng, S. Y. L. (2019). Pengembangan Ekowisata sebagai Sektor Unggulan Kota Manado (Studi Kasus Obyek Wisata Bunaken). *Jurnal Berkala Ilmiah Efisiensi*, 19(02), 119–130.

BAB 5

STOK KARBON DALAM EKOSISTEM PERAIRAN

Oleh Tri Ari Setyastuti

5.1 Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan wilayah laut mencapai 5,9 juta km² terdiri atas 3,2 juta km² perairan teritorial dan 2,7 juta km² perairan zona ekonomi eksklusif (ZEE). Dengan luas laut yang sedemikian besar maka Indonesia mempunyai cadangan karbon terbesar di dunia, yaitu sekitar 75%-80% dari total stok karbon dunia. Adapun sumber kekayaan karbon Indonesia tersebut berasal dari hutan, gambut, mangrove, hingga padang lamun.

Karbon merupakan elemen fundamental bagi kehidupan di bumi, karena mempunyai peran penting dalam berbagai aspek kehidupan antara lain :

- 1) **Membentuk Struktur Organik:** Karbon merupakan unsur utama penyusun senyawa organik, seperti karbohidrat, protein, lemak dan asam nukleat (DNA dan RNA). Senyawa-senyawa ini memiliki peran penting dalam berbagai proses biologis, seperti pertumbuhan dan perkembangan organisme. Karbohidrat menyediakan energi untuk pertumbuhan dan perkembangan organisme. Protein berperan dalam

pertumbuhan struktur sel, enzim dan antibodi. Lemak merupakan sumber energi cadangan dan komponen membran sel. Asam nukleat menyimpan informasi genetik dan mengontrol sintesis protein.

- 2) **Sumber Energi:** Karbon dalam bentuk glukosa (gula) merupakan sumber energi utama bagi sebagian besar organisme. Glukosa dipecah melalui proses respirasi sel untuk menghasilkan energi yang dibutuhkan untuk berbagai aktivitas seluler.
- 3) **Siklus Karbon:** Karbon terhubung dalam siklus biogeokimia yang penting bagi keseimbangan planet. Karbon berpindah antara atmosfer, biosfer, geosfer, dan hidrosfer melalui berbagai proses, seperti fotosintesis, respirasi, dekomposisi, dan erupsi gunung berapi. Siklus karbon membantu mengatur kadar karbon dioksida (CO_2) di atmosfer, yang memengaruhi suhu global.
- 4) **Komponen Bahan Bakar Fosil:** Karbon merupakan unsur utama dalam bahan bakar fosil seperti batubara, minyak bumi dan gas alam. Pembakaran bahan bakar fosil melepaskan CO_2 ke atmosfer, yang berkontribusi terhadap perubahan iklim.
- 5) **Bahan Baku Industri:** Karbon digunakan dalam berbagai produk industri, seperti plastik, tekstil dan karet.

Sedangkan stok karbon mengacu pada jumlah total karbon yang tersimpan di suatu kawasan atau ekosistem, termasuk organisme hidup dan bahan organik tak hidup. Selain itu stok karbon mengacu pada jumlah karbon yang dapat disimpan dalam ekosistem seperti hutan pada siklus waktu tertentu, dan penting dalam konteks mitigasi perubahan iklim karena kemampuan ekosistem tersebut

menyerap karbon dari atmosfer. Dapat dikatakan bahwa stok karbon adalah kandungan karbon absolut dalam biomassa tumbuhan pada waktu tertentu. Proporsi karbon dalam biomassa ini sekitar 50 persen dari total biomassa.



Gambar 5. 1. Ekosistem karbon biru (atas ke bawah): mangrove, rawa pasang surut, dan padang lamun.

Sumber: Howard et al. 2017. Foto dari atas ke bawah © Rachel Docherty / Flickr Creative Commons, Trond Larsen, Miguel Angel Mateo

Ekosistem perairan memainkan peran penting dalam siklus karbon global. Mereka menyerap CO₂ dari atmosfer dan menyimpannya dalam bentuk karbon organik. Proses ini disebut **penyerapan karbon biru**. Karbon biru mengacu pada karbon yang diserap, disimpan, dan dilepaskan oleh ekosistem pesisir dan laut. Ekosistem karbon biru pesisir (misalnya mangrove, estuari dan lamun) memainkan peran penting dalam penyerapan dan penyimpanan karbon jangka panjang, sehingga membantu mengurangi dampak perubahan iklim. Penyerapan karbon biru membantu

mengurangi emisi gas rumah kaca dan memerangi perubahan iklim.

Stok karbon perairan mengacu pada jumlah karbon yang tersimpan di berbagai ekosistem perairan, seperti lautan, pesisir, dan sungai. Karbon ini disimpan dalam berbagai bentuk, termasuk:

- **Biomassa:** Karbon yang tersimpan dalam tubuh organisme hidup, seperti plankton, ikan, dan terumbu karang.
- **Sedimen:** Karbon yang tersimpan di dasar perairan dalam bentuk detritus (bahan organik mati) dan sedimen laut.
- **Karbon terlarut:** Karbon yang terlarut dalam air laut, seperti CO₂ dan asam organik.

Ekosistem laut mempunyai simpanan karbon terbesar antara lain seperti tanah (misalnya gambut) dan vegetasi darat (misalnya kehutanan).

Penyimpanan karbon jangka panjang terjadi di laut dalam, dan karbon yang diserap terutama dalam bentuk bikarbonat dan anion karbonat. Pembentukannya sangat ditentukan oleh kimia laut. Untuk proses penyimpanan karbon jangka pendek di lapisan atas lautan, gradien pCO antara atmosfer dan air permukaan merupakan faktor yang mendominasi karena faktor tersebut mendorong CO₂.

Pentingnya menjaga stok karbon perairan disebabkan beberapa alasan yaitu:

1. **Mitigasi perubahan iklim:** Stok karbon membantu mengurangi emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO₂), yang merupakan penyebab utama

perubahan iklim. Hutan, tanah, dan lautan adalah penyimpan karbon alami yang penting. Dengan menjaga dan meningkatkan stok karbon di ekosistem ini, kita dapat membantu memerangi perubahan iklim.

2. **Menjaga keanekaragaman hayati:** Stok karbon yang sehat sangat penting untuk keanekaragaman hayati. Hutan, tanah, dan lautan yang kaya karbon menyediakan habitat bagi berbagai macam tumbuhan dan hewan. Menjaga stok karbon membantu melindungi keanekaragaman hayati dan ekosistem yang bergantung padanya.
3. **Menjaga kualitas air dan tanah:** Stok karbon membantu menjaga kualitas air dan tanah. Hutan dan tanah yang kaya karbon membantu menyaring polutan dan meningkatkan kesuburan tanah. Menjaga stok karbon membantu memastikan bahwa kita memiliki akses ke air dan tanah yang bersih dan sehat.
4. **Mendukung ekonomi lokal:** Stok karbon dapat mendukung ekonomi lokal. Hutan dan lautan yang kaya karbon sering kali menjadi sumber daya penting bagi masyarakat lokal, yang bergantung pada mereka untuk mata pencaharian, seperti pariwisata dan perikanan. Menjaga stok karbon membantu memastikan bahwa masyarakat lokal memiliki akses ke sumber daya yang mereka butuhkan untuk berkembang.
5. **Meningkatkan ketahanan iklim:** Stok karbon dapat membantu meningkatkan ketahanan iklim. Hutan dan tanah yang kaya karbon dapat membantu melindungi masyarakat dari dampak perubahan iklim, seperti kekeringan dan banjir. Menjaga stok karbon membantu membangun komunitas yang lebih tangguh dan berkelanjutan.

5.2 Jenis Ekosistem Perairan sebagai Stok Karbon

Stok karbon perairan berasal dari berbagai sumber, yang dapat dikategorikan menjadi dua kelompok utama:

1. Sumber biogenik

- **Fitoplankton:** Fitoplankton adalah organisme mikroskopis yang merupakan dasar dari rantai makanan di laut. Mereka menyerap CO₂ dari atmosfer dan menggunakannya untuk fotosintesis. Karbon dari fitoplankton kemudian ditransfer ke organisme lain dalam rantai makanan dan akhirnya disimpan di sedimen di dasar laut.
- **Rumput laut:** Rumput laut adalah tanaman laut yang tumbuh di perairan dangkal. Mereka menyerap CO₂ dari atmosfer dan menyimpannya dalam biomassa mereka. Rumput laut juga membantu menstabilkan sedimen di dasar laut, yang dapat membantu mencegah karbon dilepaskan kembali ke atmosfer.
- **Mangrove:** Mangrove adalah hutan yang tumbuh di daerah pasang surut pantai. Mereka menyerap CO₂ dari atmosfer dan menyimpannya di tanah dan biomassa mereka. Mangrove juga membantu melindungi garis pantai dari erosi dan badai.

2. Sumber geogenik

- **Sedimen anorganik:** Sedimen anorganik adalah partikel batuan dan mineral yang terbawa ke laut oleh sungai dan erosi pantai. Sedimen ini dapat menyimpan karbon dalam bentuk karbonat, seperti batu kapur dan dolomit.

- **Hidrotermal:** Ventilasi hidrotermal adalah celah di dasar laut tempat air panas kaya mineral keluar dari bumi. Air ini dapat membawa karbon dioksida dan metana yang larut, yang kemudian dapat mengendap di dasar laut dan membentuk karbonat.

Stok karbon perairan berasal dari berbagai sumber organik, terutama ekosistem yang menyerap karbon dioksida dan menyimpannya dalam biomassa dan sedimen.

5.2.1 Mangrove

Mangrove adalah ekosistem pesisir yang berperan penting dalam menyimpan karbon. Mangrove menyerap karbon dari atmosfer dan menyimpannya dalam biomassa tumbuhan dan sedimen. Studi menunjukkan bahwa mangrove dapat menyimpan karbon dalam jumlah besar, bahkan diperkirakan lima kali lebih banyak dibandingkan dengan hutan daratan lainnya. Dengan kemampuannya menyimpan karbon, ekosistem mangrove berperan penting dalam memitigasi perubahan iklim. Sebagai salah satu ekosistem pesisir, mangrove berperan penting dalam pengurangan emisi karbon dioksida (CO₂) dan menyimpan karbon. Potensi penyimpanan jejak emisi karbon di mangrove adalah hal yang signifikan. Berikut adalah beberapa faktor yang menjadikan mangrove penting dalam hal ini:

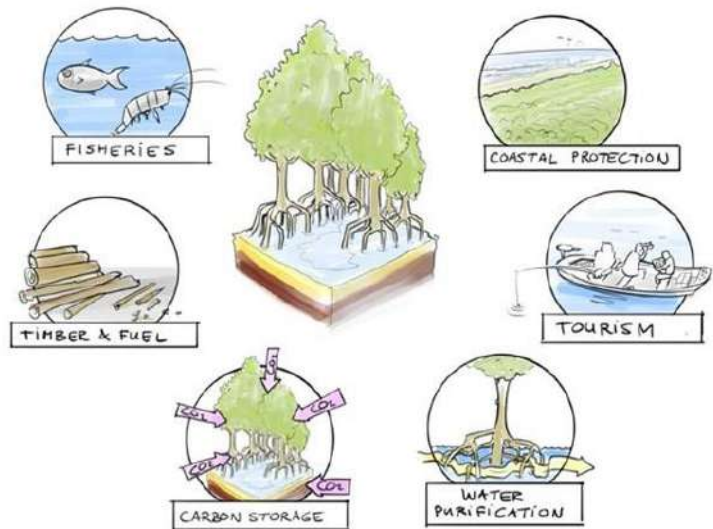
1. **Penyimpanan Karbon di Lahan Basah:** Mangrove menyimpan sejumlah besar karbon di tumpukan biomassa di bawah tanah dan di atas permukaan tanah. Akar, batang, daun, dan sisa organik lainnya di ekosistem ini

mengikat karbon dari atmosfer dan menyimpannya dalam bentuk organik.

2. **Penghambatan Penguraian Organik:** Mangrove adalah habitat yang kaya akan lumpur dan endapan organik. Kondisi anaerobik di dalam lumpur tersebut memperlambat proses penguraian organik. Ini berarti bahwa materi organik yang terperangkap di dalam lumpur tidak terurai dengan cepat dan sebaliknya tetap terkubur, menjadikan mangrove sebagai penyimpan karbon alami.
3. **Laju Pertumbuhan yang Cepat:** Tanaman mangrove tumbuh dengan cepat, terutama saat masih muda. Ini berarti bahwa mereka menyerap karbon dari atmosfer secara efisien, membantu mengurangi jumlah CO₂ di atmosfer.
4. **Perlindungan Terhadap Erosi:** Mangrove juga melindungi pantai dari erosi dan badai. Dengan demikian, mereka membantu menjaga cadangan karbon di dalam lumpur agar tetap terkubur, daripada terbawa oleh air laut.
5. **Sistem Akar yang Kompleks:** Akar mangrove sangat kompleks dan merayap ke dalam lumpur. Sistem akar ini membantu memperkuat lumpur dan mengurangi erosi. Mereka juga memberikan ruang bagi penangkapan dan penyimpanan karbon.

Peran hutan mangrove yang besar dalam menyimpan karbon dapat mencegah perubahan iklim yang disebabkan oleh pelepasan gas rumah kaca, termasuk karbon secara berlebihan. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya restorasi, rehabilitasi dan konservasi hutan mangrove untuk mencegah dan menanggulangi perubahan iklim yang terjadi.

Selain berperan pada penyimpanan karbon, mangrove juga bertindak sebagai penghalang alami untuk menstabilkan garis pantai dan mengurangi energi gelombang sehingga mengurangi risiko banjir bagi masyarakat pesisir dari gelombang badai dan kenaikan permukaan laut. Beberapa manfaat mangrove seperti tercermin pada Gambar berikut ini:



Gambar 5. 2. Jasa ekosistem yang disediakan oleh mangrove
Sumber : Wetland International, 2016.

Penyimpanan karbon di ekosistem mangrove penting untuk pengurangan emisi karbon global. Namun, mangrove sering terancam oleh pembangunan pantai, pertanian, dan aktivitas manusia lainnya. Perlindungan dan pemulihan mangrove adalah langkah penting dalam menjaga penyimpanan karbon yang mereka miliki. Organisasi konservasi dan pemerintah harus bekerja sama untuk

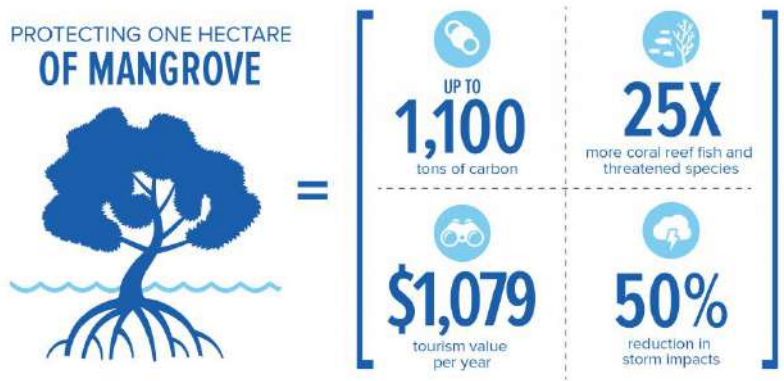
menjaga dan memelihara ekosistem mangrove ini untuk mendukung upaya mitigasi perubahan iklim.

Hutan mangrove memiliki tingkat produktivitas yang tinggi dengan potensi simpanan karbon yang terletak pada:

1. Biomassa pohonnya atau *Above-Ground Biomass* (AGB)
2. Sedimen dan tanahnya atau *Below-Ground Biomass* (BGB).

Persentase simpanan karbon AGB dan BGB pada hutan mangrove lebih besar apabila dibandingkan dengan hutan hujan tropis. Kerusakan hutan mangrove di seluruh dunia diperkirakan mencapai 50% dalam jangka waktu 50 tahun terakhir. Sebanyak 8,2 juta ha hutan mangrove sudah rusak, yang berakibat pada pelepasan karbon di udara sehingga mempercepat laju perubahan iklim.

Potensi simpanan karbon yang besar pada ekosistem mangrove dapat menjadi strategi mitigasi perubahan iklim. Sebagai informasi, total simpanan karbon rata-rata pada ekosistem mangrove adalah sebesar 441 – 1085 MgC/ha.



Gambar 5. 3. Manfaat melindungi satu hektar hutan mangrove

Sumber : Conservation International

Penelitian menunjukkan bahwa jasa ekosistem yang diberikan oleh mangrove bernilai sekitar US \$ 33,000-57,000 per hektar per tahun untuk ekonomi nasional negara-negara berkembang dengan hutan mangrove.

5.2.2 Lamun (*Seagrass*)

Lamun adalah salah satu habitat paling berharga dan memiliki keanekaragaman hayati di planet ini dan merupakan salah satu dari sedikit habitat yang memberikan banyak manfaat bagi lingkungan. Lamun adalah tanaman berbunga laut yang ditemukan di perairan dangkal di berbagai belahan dunia, mulai dari daerah tropis hingga lingkaran Kutub Utara. Mereka membentuk padang rumput bawah laut yang luas, menciptakan habitat yang kompleks, sangat produktif, dan kaya secara biologis. Lamun memiliki kemampuan untuk menyerap CO₂ melalui proses fotosintesis. Karbon yang diserap lamun sebagian digunakan

sebagai energi dan sebagian lainnya disimpan dalam jaringan-jaringan tubuhnya dalam bentuk dan menyimpannya ke dalam jaringan-jaringan di tubuhnya dalam bentuk biomassa. Beberapa alasan penting lamun adalah sebagai berikut:

1. Lamun menyediakan habitat bagi berbagai jenis biota laut, termasuk ikan dan udang yang penting secara komersial. Lamun juga berfungsi sebagai tempat pemijahan, mencari makan, serta tempat berlindung bagi berbagai spesies laut. Padang lamun menyediakan tempat pembibitan ikan-ikan penting secara komersial, memastikan ketahanan pangan dan mendukung perekonomian lokal. Padang lamun yang lebih sehat menciptakan stok ikan yang lebih sehat, yang pada gilirannya menciptakan perekonomian yang lebih baik bagi komunitas nelayan setempat.
2. Ekosistem lamun membantu menjaga keberagaman hayati dan produktivitas perairan, serta berperan dalam siklus nutrisi dan penyerapan karbon. Satu hektar padang lamun dapat menghidupi 80.000 ikan dan 100 juta invertebrata kecil. Lamun juga menjadi habitat bagi spesies langka dan terancam punah seperti kuda laut dan ubur-ubur.
3. Fisik lamun stabil di dasar perairan membantu melindungi pantai dari abrasi dan gelombang laut yang kuat. Lamun dapat mengurangi dampak tidak langsung dari erosi pantai, melalui kemampuannya dalam menstabilkan dan menjaga sedimen di dasar laut. Mereka juga meningkatkan kejernihan dan kualitas air dengan menangkap bahan organik, sedimen, dan nutrisi yang mengalir di air melalui padang rumput.

Padang lamun memerangi perubahan iklim dengan menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah besar. Lamun 35 kali lebih efisien dalam menyerap karbon dibandingkan hutan hujan di wilayah yang sama, dan meskipun hanya menutupi 0,2% dasar lautan, lamun menyimpan 10% karbon di lautan.

4. Konservasi lamun penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem pesisir dan mendukung kehidupan berkelanjutan di laut. Padang lamun adalah pengupas nitrogen yang sangat efisien, menghilangkan unsur-unsur kimia yang menyebabkan pertumbuhan alga berbahaya yang berdampak negatif pada kesehatan manusia dan hewan.

Sejak tahun 1930-an, hingga 90% padang lamun *Zostera marina* telah hilang, sebagian besar disebabkan oleh gangguan fisik, polusi, dan penyakit. Ketika padang lamun rusak atau terdegradasi, maka padang lamun akan menangkap lebih sedikit karbon dan melepaskan sejumlah besar gas rumah kaca, karbon dioksida, metana dan dinitrogen oksida yang mungkin telah tersimpan selama ribuan tahun.

5.3 Dampak Hilangnya Stok Karbon Perairan

Stok karbon perairan yang rendah dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Gangguan manusia

- **Penangkapan ikan berlebihan:** Penangkapan ikan berlebihan dapat mengurangi populasi ikan dan organisme laut lainnya yang merupakan penyimpan karbon utama di perairan.

- **Pencemaran:** Pencemaran air dari limbah industri, pertanian, dan domestik dapat membunuh organisme laut dan mengganggu siklus karbon.
- **Perubahan iklim:** Perubahan iklim dapat menyebabkan pemanasan dan pengasaman air laut, yang dapat merusak ekosistem perairan dan mengurangi penyerapan karbon.
- **Destruksi habitat:** Destruksi habitat perairan seperti hutan bakau dan terumbu karang dapat mengurangi area yang tersedia untuk menyimpan karbon.

2. Faktor alami

- **Produktivitas primer rendah:** Ekosistem perairan dengan produktivitas primer rendah akan menyimpan lebih sedikit karbon.
- **Penguraian cepat:** Penguraian bahan organik yang cepat di perairan akan mengembalikan karbon ke atmosfer sebagai CO₂.
- **Sedimentasi rendah:** Sedimentasi bahan organik yang rendah di perairan akan mengurangi jumlah karbon yang tersimpan di dasar laut.

3. Kurangnya penelitian dan data

- Kurangnya penelitian dan data tentang stok karbon perairan di banyak wilayah membuat sulit untuk mengetahui tingkat keparahan masalah dan untuk mengembangkan solusi yang efektif.

5.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Penyimpanan Karbon Perairan

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi penyimpanan karbon perairan di antaranya:

- **Produktivitas primer:** Produktivitas primer adalah laju di mana organisme fotosintetik menghasilkan biomassa. Ekosistem perairan dengan produktivitas primer tinggi akan menyimpan lebih banyak karbon.
- **Penguraian:** Penguraian adalah proses di mana bahan organik dipecah menjadi senyawa yang lebih sederhana. Penguraian yang lambat akan memungkinkan lebih banyak karbon disimpan di ekosistem perairan.
- **Sedimentasi:** Sedimentasi adalah proses di mana bahan organik tenggelam ke dasar laut. Sedimentasi yang tinggi akan membantu menyimpan karbon di dasar laut dan mencegahnya dilepaskan kembali ke atmosfer.
- **Gangguan manusia:** Gangguan manusia seperti penangkapan ikan berlebihan, pencemaran, dan perubahan iklim dapat mengganggu siklus karbon perairan dan mengurangi penyimpanan karbon.

5.5 Upaya Pelestarian dan Pemulihan Stok Karbon Perairan

Memelihara stok karbon perairan penting untuk memerangi perubahan iklim dan melindungi ekosistem laut. Ada beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan stok karbon perairan, antara lain:

- **Melestarikan ekosistem perairan:** Melindungi dan memulihkan ekosistem perairan seperti mangrove, terumbu karang dan padang lamun.
- **Menerapkan praktik perikanan berkelanjutan:** Mengurangi penangkapan ikan berlebihan dan menerapkan praktik perikanan yang berkelanjutan.
- **Mengurangi pencemaran:** Mengurangi pencemaran air dari sumber-sumber seperti limbah industri dan pertanian.
- **Meningkatkan kesadaran:** Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya stok karbon perairan dan mendorong mereka untuk terlibat dalam upaya pelestarian.
- **Melakukan penelitian:** Melakukan penelitian lebih lanjut tentang stok karbon perairan untuk memahami dengan lebih baik faktor-faktor yang mempengaruhi mereka dan untuk mengembangkan solusi yang efektif untuk meningkatkannya.

Menjaga stok karbon perairan adalah bagian penting dari upaya global untuk memerangi perubahan iklim dan membangun masa depan yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bashit, Nurhadi, et al. "Analisis Pendugaan Stok Karbon Vegetasi Dengan Penginderaan Jauh Menggunakan Metode Light Use Efficiency Di Hutan Penggaron, Kota Ungaran Kabupaten Semarang Provinsi Jawa Tengah." *Elipsoida: Jurnal Geodesi dan Geomatika* 6.1 (2023): 32-42.
<https://forestsnews.cifor.org/13406/mengukur-stok-karbon-pengukuran-akurat-amat-penting-bagi-dampak-redd?fnl=en>
- Maulida, Maulida, et al. "STOK KARBON POHON DI KAWASAN HUTAN SEKUNDER RINON PULO BREUH KABUPATEN ACEH BESAR." *Prosiding Seminar Nasional Biologi, Teknologi dan Kependidikan*. Vol. 4. No. 1. 2018.
- Roziaty, Efri, and Suparti Suparti. "Pengenaln Konsep Stok Karbon Pohon sebagai Usaha Mitigasi Perubahan Iklim Kepada Guru IPA dan Biologi se Jawa Tengah." *Sasambo: Jurnal Abdimas (Journal of Community Service)* 4.1 (2022): 144-154.
- Rustam, Agustin, et al. "Pengaruh Perubahan Lingkungan Terhadap Stok Karbon pada Ekosistem Lamun di Pulau-Pulau Kecil, Studi Kasus: Gugusan Kepulauan Seribu." *Jurnal Kelautan Nasional* 16.3 (2021): 197-208.
- Hertyastuti, Putri Restu, et al. "Estimasi kandungan stok karbon pada ekosistem padang lamun di perairan Dompok dan Berakit, Kepulauan Riau." *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 12.3 (2020): 849-862.
- Ariadi, Heri. *Dinamika wilayah pesisir*. Universitas Brawijaya Press, 2023.

Rahmayanti, Henita, and S. K. M. Feryl Ilyasa. *Pendidikan Lingkungan dan Perubahan Iklim*. Selat Media, 2022.

Hari, Bayu Sapta. *Pemanasan Global dan Perubahan Iklim*. Penerbit Duta, 2019.

BAB 6

PENERAPAN MODEL KONSERVASI UNTUK PELESTARIAN EKOLOGI AKUATIK

Oleh Roni Bawole

6.1 Pendahuluan

6.1.1 Latar Belakang

Ancaman terhadap ekologi akuatik, terutama kesatuan dan kestabilan ekosistem, telah menjadi perhatian utama dari banyak publikasi dan ulasan di masa lalu, misalnya berkaitan dengan ancaman wilayah pesisir dan laut (Bawole 2023; Bawole 2024), ikan pelagis (Lahumeten et al. 2019; Sala et al. 2021c; Sala et al. 2021b; Sala et al. 2021a; Karamoy et al. 2022; Sala et al. 2023), ikan ekonomis penting (Bawole et al. 2017; Mudjirahayu et al. 2017; Bawole et al. 2018; Sala et al. 2022), ekosistem pesisir (Runtuboi et al. 2019; Samori et al. 2021; Setyadi et al. 2022; Sraun et al. 2022; Kaber et al. 2023; Kasihiw et al. 2023; Sraun et al. 2023; Yarangga et al. 2023; Kasihiw et al. 2024), jenis penting dan terancam (Kaliele et al. 2017; Kaliele et al. 2018; Suruan et al. 2018; Jentewo et al. 2021), perikanan udang (Henan et al. 2021; Sala et al. 2021a; Refideso et al. 2023; Yarangga et al. 2023), dan kawasan perlindungan perairan (Bawole et al. 2011; Bawole 2012; Bawole et al. 2013; Bawole et al. 2015; Bawole & Megawanto 2017; Runtuboi et

al. 2018; Bawole et al. 2019). Hal ini menunjukkan luasnya tantangan, permasalahan dan krisis sumberdaya yang terjadi pada lingkungan ekologi akuatik. Hal ini, tentunya, tidak hanya terbatas pada perubahan dan degradasi habitat (eutrofikasi, pengasaman, sedimentasi, peningkatan kekeruhan, hilangnya vegetasi tepi sungai) tetapi juga terjadinya kontaminasi oleh zat beracun seperti logam berat, introduksi spesies non-asli, manipulasi tata pengairan (bendungan, pembuangan air tanah, pembuangan air untuk irigasi), tangkap lebih, tekanan terhadap spesies yang bernilai komersial/rekreasi dan tekanan global (pemanasan global, dll.). Ancaman-ancaman tersebut semakin diperparah karena ukuran beberapa lingkungan ekologi akuatik sangat sempit (misalnya beberapa sungai dan danau). Banyak organisme akuatik terbatas dalam distribusi (misalnya adanya bendungan) dan ekosistem di sekitarnya mungkin melampaui batas toleransi spesies dalam beradaptasi dan beberapa organisme air tawar mungkin terkena gangguan namun tidak dapat lepas dari perubahan yang terjadi.

Akibat faktor-faktor tersebut diyakini menghilangkan keanekaragaman hayati ekologi akuatik melebihi yang diamati di lingkungan darat (Potapov et al. 2019; Dahlin et al. 2021). Artinya, ikan air tawar mungkin merupakan kelompok yang paling terancam dari vertebrata di planet bumi dan dapat mengalami kepunahan global pada tingkat ikan, yang dapat melebihi vertebrata tingkat tinggi lain. Penurunan perikanan air tawar sekarang ini dapat terlihat di beberapa tempat rekreasi perikanan (Muthmainnah & Fatah 2021; Ningtas et al. 2022). Selain itu, seiring dengan pertumbuhan populasi manusia akan berlanjut terus, mengakibatkan konsumsi air tawar global maupun konsumsi air bersih manusia berdampak terhadap

ekosistem perairan air tawar dan diperkirakan melebihi dampak yang terjadi saat ini. Penelitian menunjukkan bahwa perubahan komposisi spesies dalam komunitas perairan dapat mengakibatkan perubahan produktivitas primer, komunitas makrofita dan keanekaragaman spesies (Farhan Rijaluddin et al. 2017; Suardiani et al. 2018; Nofdianto & Tanjung 2019).

Selanjutnya perubahan pada kelimpahan relatif individu atau spesies dalam komunitas perairan dapat berdampak negatif terhadap kekayaan spesies, biomassa ekosistem, umur pertama ikan menjadi dewasa, atau dinamika jaring-jaring makanan. Oleh sebab itu para saintis perlu memahami, menilai dan menjaga struktur komunitas akuatik. Dengan demikian, pendekatan model konservasi dan perlindungan keanekaragaman ekologi akuatik secara substansial menjadi efektif. Selain itu, inovasi pendekatan terhadap teknik manajemen diperlukan melalui penetapan kawasan lindung perairan dengan menata tingkat intervensi manusia sebagai faktor utama pendekatan.

6.1.2 Pernyataan Masalah Dan Kebaruan

Ekosistem akuatik (air tawar, payau, pesisir dan laut) mengalami ancaman serius keanekaragaman hayati dan gangguan kestabilan ekosistem, sehingga ekosistem akuatik tidak dapat berfungsi secara maksimal dalam mendukung keberlanjutan interaksi antar komponen lingkungan (biotik dan abiotik). Situasi tersebut telah disadari oleh banyak peneliti dan merupakan bagian dari banyak publikasi selama beberapa waktu, misalnya (Escartín dan Porte 1999; Hukom and Bawole 1999; Howarth et al. 2000; Bawole et al. 2013; Bawole et al. 2014; Xu dan Zhang 2022)(Williams et al. 1989; Warren dan Burr 1994; Cowx 2002), dan banyak strategi telah diusulkan untuk mengatasi krisis dan upaya

pengelolaan yang dilakukan bagi peningkatan kualitas sumberdaya akuatik (lihat contoh Bawole et al. 2013; Bawole et al. 2015; Bawole Roni; Megawanto 2017; Kaliele et al. 2018; Bawole et al. 2019; Bawole 2023. Salah satu pilihan model konservasi bagi perlindungan ekologi akuatik, yang memiliki potensi untuk memberikan perlindungan terhadap habitat air tawar yang terancam adalah dengan penggunaannya Kawasan Lindung Air Tawar (KLAT).

Model KLAT dapat dianalogikan dengan Kawasan Konservasi Laut (KKL), yang pengembangannya telah berkembang pesat selama dua dekade terakhir. Terlepas dari adanya perbedaan nyata dalam fokus, skala ekosistem dan wilayah lingkungannya, baik KLAT dan KKL sama-sama sebagai model konservasi yang secara teoritis dapat mengembalikan kondisi spesies, populasi dan ekosistem kembali kepada keadaan semula setelah terjadinya gangguan (Agardy 1997; Charles and Wilson 2009; Bio et al. 2012; Day et al. 2015). Meskipun pendekatan KLAT tidak merupakan hal yang baru, praktek-praktek KLAT dapat menjadi pilihan model konservasi, yang selama kurang dimanfaatkan dan sering diabaikan bagi para konservasionis. Oleh sebab itu, KLAT layak mendapat perhatian, pertimbangan, penerapan dan penelitian yang lebih luas untuk memastikan perlindungan ekologi akuatik.

Dari uraian diatas, maka makalah ini akan membahas beberapa aspek yang berkaitan model perlindungan ekologi akuatik. Pertama, makalah ini akan menyoroti perlunya tindakan konservasi tambahan pada air tawar lingkungan. Kedua, KLAT menjadi bagian dari keberhasilan program pengelolaan dan konservasi yang dirancang untuk melindungi ekologi akuatik. Artinya, kondisi perairan tawar di masa lalu, dan terdapat banyak bukti biologis yang menunjukkan bahwa penurunan kualitas ekologi akuatik

dapat terjadi. Jadi, perhatian terhadap KLAT harus diterapkan dalam mengelola permasalahan konservasi di masa depan. Ketiga, makalah ini menyajikan tantangan saat ini dalam penggunaan KLAT sebagai model konservasi dalam melindungi biodiversitas ekologi akuatik. Dengan demikian pengkayaan ilmu pengetahuan dan penerapan strategi KLAT dapat menjadi model konservasi dimasa yang akan datang.

6.2 Model Kawasan Konservasi

6.2.1 Kawasan Konservasi Laut (KKL)

Konservasi lahan yang luas telah lama menjadi landasan kegiatan konservasi terestrial sebagai upaya konservasi (Drescher and Brenner 2018; Gooden and 't Sas-Rolfes 2020; Lang et al. 2023). Selama beberapa dekade, ilmuwan, manajer dan pembuat kebijakan telah memanfaatkan ukuran, keragaman, dan konektivitas dalam perancangan cadangan lahan bagi upaya konservasi. Hal ini dilakukan sebagai upaya untuk mencegah hilangnya keanekaragaman hayati di ekosistem darat. Selama beberapa dekade penggunaan habitat yang luas dan tidak terganggu untuk konservasi telah menjadi hal yang penting dan menonjol di lingkungan laut (Kelleher, Graeme; Kenchington 1991; Agardy 1997; Kelleher and Recchia 1998; Sanchirico et al. 2002; Jentoft et al. 2007; Borrini-Feyerabend et al. 2013). Ekosistem laut saat ini mengalami degradasi akibat sejumlah permasalahan termasuk kerusakan habitat, pemanenan sumber daya yang berlebihan, polusi, pengenalan spesies non-asli dan perubahan iklim, dan para ilmuwan semakin memanfaatkan KKL untuk mencegah penurunan lebih lanjut.

Kawasan perlindungan laut dapat didefinisikan sebagai "Setiap kawasan daerah intertidal atau subtidal, bersama dengan air di atasnya dan flora yang terkait, fauna, ciri-ciri sejarah dan budaya, yang dilindungi oleh perundangan. Hal ini sebagai cara yang efektif untuk melindungi sebagian atau seluruh lingkungan laut secara permanen. Meskipun tujuan pembentukan KKL sangat beragam dan dapat mencakup beberapa tujuan yang berbeda termasuk konservasi keanekaragaman hayati dan habitat, perlindungan spesies langka dan/atau terancam punah, atau pengendalian laju eksploitasi dan pemeliharaan nilai-nilai tradisional yang berkembang secara lokal. Hal ini dapat dilihat pada pembentukan dan pengembangan KKL di bentang laut kepala burung Papua.

Kemajuan dalam banyak aspek konservasi laut telah terdokumentasi dengan baik. Dalam sintesis tentang lebih dari 100 KKP dengan luas berkisar antara 0,002—846 km², (Halpern 2003; Halpern and Warner 2003) menyimpulkan bahwa KKL dikaitkan dengan peningkatan keanekaragaman spesies, biomassa, ukuran organisme dan kepadatan organisme relatif terhadap kawasan yang tidak dilindungi. Manfaat KKL dapat pada beberapa keadaan trofik dari invertebrata hingga karnivora teratas, dan terjadi terlepas pada berbagai ukuran KKL. Selain itu, KKL juga dapat meningkatkan peluang bagi non-konservasi, seperti kegiatan pariwisata bahari dan perikanan berkelanjutan, serta menjamin praktek-praktek pengelolaan lokal.

Pemanfaatan sumber daya laut, seperti ekowisata dan pemnfaatan jasa lingkungan (estetika), melindungi spesies atau habitat yang rentan, mengekspor biomassa ke perairan sekitarnya (daerah penangkapan ikan, merupakan fungsi KKL. Hal ini telah terbukti dari berbagai publikasi ilmiah bahwa KKL dapat meningkatkan pemahaman ilmiah

terutama bagi cadangan area yang belum dieksploitasi untuk penambahan ukuran dan atau membentuk KKL baru. Berdasarkan manfaat tersebut tidak mengherankan jika KKL dapat dilihat sebagai kawasan “yang paling banyak” diperhatikan baik pada skala global maupun nasional. Tindakan konservasi secara efektif terkait dengan perlindungan ekosistem laut, dan sangat menganjurkan bagi kegiatan evaluasi KKL dilakukan secara berkelanjutan. Namun, beberapa penulis berpendapat bahwa KKL bukanlah jawaban atas seluruh tantangan yang dihadapi lingkungan laut saat ini. Misalnya saja, KKL sering kali gagal melindungi ikan-ikan yang bermigrasi jauh yang mungkin melakukan perjalanan ke luar perbatasannya dan tidak berbuat banyak dalam mengatasi polusi yang bukan berasal dari sumbernya atau degradasi lingkungan dalam skala yang lebih besar seperti pemutihan karang. Lebih jauh lagi, kegiatan KKL yang dibarengi dengan peningkatan jumlah populasi yang terjadi secara terus menerus dapat mengesat praktek-praktek konservasi yang sudah berjalan. Isu-isu sosio-politik terkait pemilihan lokasi dan peran KKL seringkali menjadikan akumulasi dari berbagai persoalan yang rumit dalam membangun tata kelola KKL yang baik.(Jones 2002; Coleman et al. 2004; Christie 2005; Howes et al. 2012; Humphreys dan Clark 2019; Álvarez-Fernández et al. 2020).

Jones (2002) melaporkan bahwa lebih dari seperempat KKL global gagal memenuhi kebutuhannya tujuan pengelolaan, dan KKL tidak dapat mempertahankan lingkungan laut dari semua sumber gangguan ekosistem eksternal (Agardy et al. 2003; Westhead et al. 2012; Becker-Weinberg 2023). Meskipun terdapat kekurangan-kekurangan, KKL yang dikelola dengan baik dapat berperan dalam perlindungan lingkungan laut (Halpern et al. 2008; Lester et al. 2009)

6.2.2 Kawasan Lindung Air Tawar (KLAT)

Sampai saat ini, penggunaan area tertutup untuk melindungi biota air tawar dari gangguan antropogenik relatif lambat dibandingkan dengan perlindungan ekosistem laut. Pada hal pemanfaatan kawasan lindung merupakan tindakan paling populer yang dapat digunakan untuk melindungi populasi ikan air tawar di samping rehabilitasi habitat dan peningkatan stok ikan di alam.

Menariknya, banyak dari kawasan konservasi pada awalnya tidak dirancang dengan tujuan untuk melindungi ikan secara khusus. Saat ini penggunaan kawasan konservasi di lingkungan laut (seperti Kawasan Konservasi Laut, KKL) lebih marak ditetapkan, namun sangat mengejutkan ketika banyak pengelola dan ilmuwan air tawar belum mencoba menerapkan hal ini. Prinsip dan teknik umum yang sama bagi KKL sesungguhnya dapat diterapkan juga pada lingkungan air tawar, terutama ketika berbagai berbagai publikasi tentang biodiversitas ikan air tawar dengan segala bentuk ancamannya dan intervensi pengelolaan harus dilakukan (Fahmi 2015; Prianto et al. 2017; Syafei 2017; Efendi dan Carolina 2023; Sembiring et al. 2024). Dari sudut pandang langsung, penerapan KLAT sesungguhnya dapat memainkan peran penting dalam rehabilitasi dan konservasi sejumlah spesies air tawar, habitat dan ekosistemnya.

Dalam konteks global, publikasi perlindungan ikan air tawar telah digunakan sebagai model konservasi beberapa spesies ikan langka di Amerika telah dimulai sejak tahun 1960an (Minckley dan Deacon 1991; Williams 1991; Means dan Johnson 1995; Brown dan Johnson 2001), namun beberapa kawasan larangan penangkapan ikan diberlakukan pada tahun 1940an (Brown dan Johnson 2001). KLAT yang dirancang untuk melindungi sarang ikan bass hitam

(*Micropterus* spp.) dari penangkapan ikan selama tahap perlindungan induk ikan telah terbukti meningkatkan upaya tangkapan per unit pemancing (Sztramko 1985) dan meningkatkan keberhasilan reproduksi di tingkat populasi (Suski dan Philipp 2004). Kawasan tanpa penangkapan ikan di danau Zimbabwe terbukti berhasil meningkatkan distribusi jumlah dan ukuran beberapa famili ikan air tawar (Sanyanga et al. 1995), dan penerapan tempat perlindungan tanpa penangkapan ikan (*no-fishing shelter*) telah berperan besar dalam rehabilitasi populasi ikan trout danau (*Salvelinus namaycush*) yang dieksploitasi di dua negara, yaitu Danau Huron (Reid et al. 2001; Shephard et al. 2014) dan Danau Superior (Schram et al. 1995; Wegener et al. 2018). Kocovsky dan Carline (2001) mendokumentasikan bahwa populasi ikan (*Sander vitreus*) yang tidak dieksploitasi di Pennsylvania menunjukkan kepadatan populasi dan ukuran ikan dewasa yang lebih besar dibandingkan populasi lain yang dieksploitasi, sementara (Kerns et al. 2015) melaporkan bahwa setelah danau Florida dibuka untuk penangkapan umum, biomassa ikan bass mulut besar dan tangkapan pemancing per unit usaha turun drastis karena kematian ikan yang disebabkan oleh penangkapan ikan. Artinya, praktek konservasi ikan air tawar dengan model perlindungan larang tangkat dan pengendalian kegiatan penangkapan ikan dapat menjadi instrumen kontrol yang baik dalam pengelolaan ikan.

Keberadaan KLAT di suatu badan air akan berfungsi untuk meminimalkan gangguan manusia di suatu wilayah, sehingga dapat memberikan manfaat bagi lingkungan air tawar guna mendukung kegiatan perikanan tangkap. Hal ini tentunya dapat dilakukan pada berbagai tingkatan manajemen. Lalu lintas perahu di danau, misalnya, telah terbukti meningkatkan penambahan bahan kimia yang

berasal dari bahan bakar minyak masuk kedalam air. Selain itu, lalu lintas perahu juga dapat meningkatkan resuspensi sedimen bentik ke dalam kolom air, yang dapat berdampak buruk terhadap komunitas ikan dan makrofita perairan. Lebih jauh lagi, lalu lintas perahu dapat berdampak pada kemampuan pendengaran ikan (Scholik dan Yan 2000; Scholik dan Yan 2002). Selain itu, banyak penelitian telah mendokumentasikan dampak negatif, misalnya pencemaran pada berbagai perairan tawar di Indonesia (Marganof et al. 2007; Machbub 2010; Noor and Ngabito 2018; Niode et al. 2021). Terakhir, konflik antar pengguna sumber daya air tawar telah terdokumentasi (Listyawati 2012; Mawardi 2014), dan kemungkinan akan terus meningkat seiring dengan terus berlanjutnya permintaan manusia terhadap sumber daya air tawar. Jadi, upaya perlindungan ekosistem akuatik menjadi keniscayaan untuk ditata dalam mendukung kehidupan manusia.

KLAT pada prinsipnya dapat membantu memperbaiki beberapa masalah, termasuk konflik, dengan cara memisahkan kelompok pengguna ke dalam wilayah tertentu. Oleh karena itu, penting bagi para ilmuwan, pengelola, dan aktivis konservasi untuk terus merancang dan menerapkan KLAT, dan mengeksplorasi kegunaannya dalam melindungi lingkungan air tawar di sejumlah tingkat trofik dan dalam situasi yang kondusif, inovatif dan kreatif.

Dalam mendukung penerapan KLAT, sejumlah peneliti juga sangat menyarankan pengembangan *refugia* air tawar untuk membantu konservasi dan perlindungan beberapa spesies air yang berbeda (Budiharjo 2010; Hakim 2015; Hakim et al. 2016; Affandi et al. 2020; Sugianti et al. 2020). Pembentukan KLAT dapat merupakan satu-satunya cara untuk melindungi banyak spesies di perairan tawar. Kebutuhan KLAT dapat menanggulangi masalah-masalah

spesies ikan air tawar yang terancam punah, dengan cara melindungi ikan dari kegiatan penangkapan selama masa periode reproduksi, melindungi spesies asli (endemik) dan mengatasi masalah invasi ikan. Strategi konservasi diterapkan untuk melindungi komunitas alami yang tersisa yang mendukung fauna ikan asli secara utuh. Kawasan perairan tawar dengan berbagai bentuk dengan keanekaragaman spesies yang tinggi dilindungi untuk menurunkan risiko kepunahan fauna akuatik. Pembentukan Kawasan Pengelolaan Keanekaragaman Perairan sebagai upaya untuk melindungi spesies akuatik yang terancam punah dan perburuan ikan yang dilakukan oleh pihak-pihak yang tidak bertanggungjawab. KLAT juga dapat bermanfaat untuk melindungi habitat dan proses alamiah ekosistem seperti sistem aliran alami dan masukan air tanah (misalnya untuk pembangkit listrik). Dengan demikian KLAT tidak hanya berfokus pada ikan, tetapi dapat menargetkan semua bentuk kehidupan akuatik, dan bahkan bentuk kehidupan darat yang bergantung pada ikan dan jasa ekosistem perairan.

KLAT dari perspektif biologis dapat menjadi pilihan pengelolaan yang berhasil bagi ekosistem air tawar yang terancam, dan dapat membantu melindungi lingkungan air tawar dari berbagai ancaman yang terjadi saat ini. Namun sampai saat ini, penggunaan KLAT dalam strategi konservasi perairan belum berkembang sepesat KKL. Alasannya, pertama, adanya perbedaan ancaman yang dihadapi lingkungan air tawar dan laut, dan efektivitas kawasan lindung sebagai upaya untuk memperbaiki ancaman-ancaman sangat bervariasi. Kawasan lindung mungkin bukanlah solusi ideal untuk semua tantangan yang dihadapi lingkungan air tawar, dan pilihan konservasi lain mungkin perlu diterapkan dibandingkan dengan KLAT. Misalnya, Jika

kawasan lindung diterapkan di hilir dari sumber polusi, KLAT tidak akan berbuat banyak mengatasi masalah ini karena polutan akan dibawa ke hilir menuju kawasan yang dilindungi daerah. Karena alasan ini, pentingnya kawasan lindung ditekankan pada daerah tangkapan air dalam menangani perlindungan lingkungan air tawar (termasuk daerah tepi sungai). Alasan kedua berkaitan dengan KLAT yang belum populer dilihat dari penggunaan terminologi. Saat ini belum ada ketentuan mengenai pemanfaatan kawasan lindung distandarisasi di seluruh penelitian yang berpotensi menghasilkan contoh sukses kawasan lindung di air tawar. Sebagaimana dibahas di atas, ada banyak contoh yang menunjukkan peran KLAT dalam melindungi lingkungan perairan. Namun, banyak dari penelitian menggunakan metode yang berbeda terminologi untuk menamai kawasan lindungnya. Alasan ketiga, KLAT dengan tingkat penyebarannya memiliki kompleksitas yang tinggi dalam menangani strategi konservasi di lingkungan air tawar. Secara umum, aspek biologi hanyalah salah satu komponen dari keberhasilan program konservasi; komponen ekonomi, sosial budaya, pertimbangan politik dan penegakan hukum harus dipertimbangkan dan dikoordinasikan sebelum pengelolaan berhasil. Strategi manajemen diterapkan dan dipelihara pada berbagai tingkat manajemen, misalnya kewenangan daerah dan pusat. Kurangnya KLAT dalam upaya konservasi air tawar disebabkan oleh tugas yang kompleks dan sulit untuk menggabungkan semua komponen ketika KLAT dipertimbangkan sebagai pilihan pengelolaan lingkungan air tawar. Misalnya penerapan program konservasi lingkungan air tawar memerlukan kerjasama dari berbagai kelompok pemangku kepentingan. Hal ini seringkali mencakup beberapa wilayah ekosistem air tawar, dan berpotensi melibatkan banyak yurisdiksi dan kepentingan pengguna.

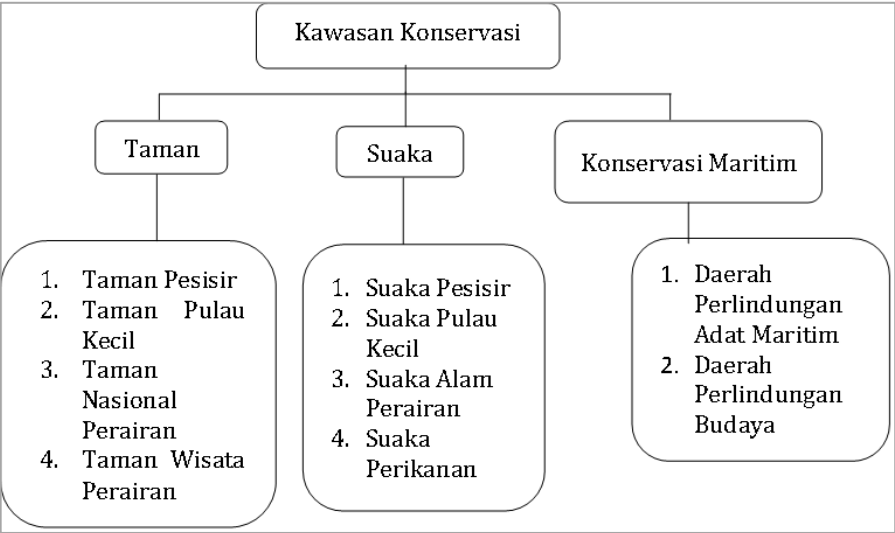
Kelompok pemangku kepentingan juga harus melakukan hal yang sama dalam memutuskan program pemeliharaan, penegakan hukum dan penilaian. Selain itu, banyak lingkungan air tawar dan daerah tangkapan air terkait dengan kepemilikan pribadi sehingga sulit untuk menerapkan pengelolaan rencana yang mungkin tidak mewakili keinginan/kebutuhan pemilik tanah. Hal ini kontras dengan lingkungan laut yang sebagian besar wilayahnya merupakan wilayah publik sehingga menghilangkan hambatan konservasi yang memungkinkan KKL tumbuh dibandingkan dengan KLAT.

6.2.3 Kawasan Konservasi Perairan Indonesia

Berdasarkan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan nomor 31 tahun 2020, kawasan konservasi adalah kawasan yang mempunyai ciri khas tertentu sebagai satu kesatuan ekosistem yang dilindungi, dilestarikan dan dimanfaatkan secara berkelanjutan.

Kawasan konservasi bukan hanya tentang perlindungan dan pelestarian, namun pentingnya pemanfaatan berkelanjutan untuk kesejahteraan masyarakat (Leenhardt et al. 2015; Villasante et al. 2023). Secara umum kawasan konservasi di Indonesia dikelola dengan pendekatan zonasi, dimana masing-masing zona memiliki aturan yang berbeda-beda. Berdasarkan aturan, kawasan konservasi harus memiliki zona inti yang merupakan zona larang ambil yang berfungsi dalam mendukung kelestarian sumber daya ikan (Russ et al. 2005; Sale et al. 2005; Hughes et al. 2007; Lester and Halpern 2008; Wielgus et al. 2008; Lester et al. 2009; Stockwell et al. 2009; Miller and Russ 2014; Sala and Giakoumi 2018; Rusandi et al. 2021). Selain itu terdapat pula zona pemanfaatan terbatas, dan zona lain sesuai peruntukan kawasan (Permen KP 31/2020). Kawasan

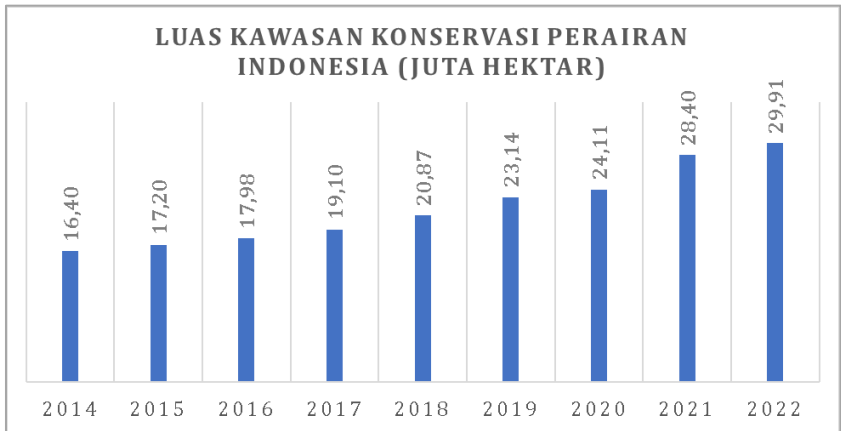
konservasi dapat ditetapkan dengan kategori Taman, Suaka, dan Kawasan Konservasi Maritim (Gambar 6.1).



Gambar 6. 1. Kategori Kawasan Konservasi (Permen KP No. 31 Tahun 2020)

Perkembangan jumlah dan luasan Kawasan Konservasi Indonesia menunjukan tren meningkat sejak tahun 2014 – tahun 2022 (Gambar 2). Peningkatan ini terjadi tidak hanya perlindungan kawasan tetapi juga target konservasi, terutama perlindungan bagi spesies endemik, langka dan bermigrasi jauh (penyu, lumba). KPP tersebut masih dikelola secara tunggal tetapi belum dalam konteks membentuk jejaring KKP berdasarkan kawasan maupun spesies. Inisiasi berbagai mitra pembangunan untuk membentuk jejaring KKP di Bentang Laut Kepala Burung Papua masih diperhadapkan berbagai kendala teknis. Inisiasi pembentuk forum sering diperhadapkan pada kendala birokrasi dan rumitnya implementasi kegiatan pada

tingkat lokal. Sinergis kegiatan antara pemerintah dan berbagai NGOs yang belum padu, baik pada tingkat penganggaran, implementasi dan pemantauan kegiatan.



Gambar 6. 2. Perkembangan luas (hektar) Kawasan Konservasi Perairan Indonesia (KKP, 2023).

6.3 Tantangan Dan Kajian Masa Depan

Indonesia mempunyai sejarah panjang dalam pendokumentasian kekayaan sumber daya ikan. Keanekaragaman spesies ikan Indonesia berkisar 1700 spesies (Gustiano et al. 2021). Selanjutnya dinyatakan pula pada pangkalan data ikan hanya tercatat 1.258 spesies (kontribusi 10% terhadap dunia), sekitar 442 spesies (26%) yang belum tercatat di dunia. 340 jenis ikan masuk terkategori terancam punah. Jumlah ini akan terus bertambah seiring dengan eksplorasi pengungkapan jenis baru yang terus berjalan. Masih banyak ekosistem baik perairan tawar maupun laut di wilayah Indonesia yang belum tereksplorasi.

Seperti halnya strategi pengelolaan lain, mengembangkan KLAT untuk pengelolaan masih menjadi masalah, sangat membutuhkan ilmuwan dan manajer untuk mengatasi sejumlah tantangan. Banyak KLAT dapat berbeda menurut lokasi geografis dan/atau keadaan. Kendala pertama adalah mengidentifikasi kawasan atau spesies yang memerlukan perlindungan tambahan. Lebih Saat ini, sejumlah pemerhati KLAT telah mempublikasikan untuk model perlindungan baik ekosistem, habitat dan spesies yang menjadi target konservasi (Linke et al. 2011; Howard et al. 2018; Belle et al. 2019; Ahmed et al. 2022; Barouillet et al. 2024). Selanjutnya, penting untuk menyadari bahwa KLAT sangat efektif melindungi ekosistem air tawar dari berbagai pemicu tekanan. Model KKL yang berhasil dapat dipelajari dan diadopsi dalam pembentukan, penetapan dan rencana aksi pengelolaan KLAT. Setelah KLAT diidentifikasi sebagai sesuai kesepakatan banyak pihak, termasuk masyarakat lokal, alat manajemen dapat diimplementasikan oleh manajer dan atau lembaga yang membidangu. Kegiatan pemantauan, undang-undang yang digunakan untuk penegakan hukum, konektivitas antara KLAT dan dengan lingkungan laut, dan permasalahan sosiopolitik lain yang mungkin timbul dapat tata sebagai kekuatan dalam pengelolaan KLAT. Meskipun banyak tantangan yang dihadapi, implementasi dan implementasi KLAT dari berbagai daerah atau negara akan memungkinkan pengembangan basis pengetahuan tentang ide dan teknik yang digunakan untuk mengatasi tantangan yang ada. Seiring waktu, KLAT dapat diterapkan untuk mengatasi masalah tambahan isu konservasi, membangun basis pengetahuan dan tumbuhnya kesadaran penting perlindungan perairan tawar. Dengan demikian terjadinya pertukaran ide dan memfasilitasi penerapan KLAT pada program konservasi secara menyeluruh.

6.4 Penutup

Ekosistem air tawar saat ini mengalami penurunan keanekaragaman hayati dan integritas ekosistem yang mengkhawatirkan sebagai akibat dari berbagai pemicu stres. Rencana pengelolaan ekosistem akuatik, yang sebagian besar tidak efektif dalam mencegah penurunan ini, dan perubahan terhadap cara perlindungan habitat air tawar, harus segera dilakukan. Tidaklah sulit untuk menyediakan ruang sungai atau danau, bahkan dalam konteks yang lebih luas ketika kita membicarakan Daerah Aliran Sungai atau Daerah Tangkapan Air untuk melindungi ikan air tawar. Kepedulian kita terhadap konservasi dapat menghilangkan ancaman dan gangguan manusia melalui pemanfaatan kawasan lindung, sebagaimana sukses dari konservasi lingkungan laut.

Kajian-kajian dampak kawasan lindung di lingkungan air tawar secara proporsional sangat langka, namun bukti biologis menunjukkan bahwa air tawar wajib dilindungi. Daerah ini mempunyai potensi untuk melindungi lingkungan air tawar dari berbagai hal yang merusak pemicu stres, dan berdampak positif akibat penurunan keanekaragaman hayati.

Penelitian tentang dampak KLAT terhadap perlindungan keanekaragaman hayati dan stabilitas ekosistem mungkin efektif dalam membalikkan kepedulian yang mengkhawatirkan dalam perusakan air tawar habitat. Penggabungan KLAT dalam cara-cara inovatif untuk mengatasi permasalahan konservasi akan meningkatkan pengetahuan kita tentang kemampuan KLAT sebagai alat konservasi. KLAT juga dapat membantu mengembangkan teknik dan model untuk menghadapi banyak masalah sosiopolitik dan masalah penegakan hukum, dan akan

membantu implementasinya di proyek-proyek masa depan yang berkaitan dengan pemanfaatan ekosistem akuatik, terutama perairan tawar.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, R., Kamal, M.M. and Haryani, G.S. 2020. Pengelolaan Berkelanjutan Glass eel Ikan Sidat (*Anguilla spp.*) di Muara Sungai Cimandiri Palabuhanratu Jawa Barat. *Repository.Ipb.Ac.Id*.
- Agardy, T.P. et al. 2003. Dangerous targets? Unresolved issues and ideological clashes around marine protected areas. *Aquat. Cons. Mar. Freshw Ecosyst.* 13, p. 353.
- Agardy, T.S. 1997. *Marine Protected Areas and Ocean Conservation*. I. San Diego, California: Academic Press, Inc.
- Ahmed, S.F. et al. 2022. Threats, challenges and sustainable conservation strategies for freshwater biodiversity. *Environmental Research* 214. doi: 10.1016/j.envres.2022.113808.
- Álvarez-Fernández, I., Freire, J., Naya, I., Fernández, N. and Sánchez-Carnero, N. 2020. Failures in the design and implementation of management plans of Marine Protected Areas: An empirical analysis for the North-east Atlantic Ocean. *Ocean and Coastal Management* 192. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2020.105178.
- Barouillet, C. et al. 2024. Freshwater conservation: Lost in limnology? *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 34(1). doi: 10.1002/aqc.4049.
- Bawole, R. et al. 2011. Keberlanjutan Penatakelolaan Zona Pemanfaatan Tradisional dalam Kawasan Konservasi Laut Taman Nasional Teluk Cenderawasih Papua Barat National Park of Cenderawasih Bay , West Papua. *Jmht* XVII(2), pp. 71–78.

- Bawole, R. 2012. Analysis and Mapping of Stakeholders in Traditional Use Zone within Marine Protected Area. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika (Journal of Tropical Forest Management)* 18(2), pp. 110–117. Available at: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jmht/article/view/6043>.
- Bawole, R. 2023. Perencanaan Ruang Laut Sebagai Instrumen Pengelolaan Perikanan Berkelanjutan. In: Sulung-Neila ed. *Pengelolaan Perikanan Di Indonesia*. 1st ed. Padang: Get Press Indonesia, pp. 271–296.
- Bawole, R. 2024. Permasalahan Dan Ancaman Wilayah Pesisir dan Laut. In: Yanto, A. ed. *Pengantar Ilmu Perikanan Dan Perairan*. 1st ed. Padang: Get Press Indonesia, pp. 229–262.
- Bawole, R., Mudjirahayu, Rembet, U.N.W.J., Amir, A., Runtuboi, F. and Sala, R. 2018. Exploitation rate of *Plectropomus leopardus* (Pisces: Serranidae) taken from Rumberpon island water, Cenderawasih Bay National Park, Indonesia. *AACL Bioflux* 11(1).
- Bawole, R., Pattiasina, T.F. and Kawulur, E.I.J.J. 2014. Coral-fish association and its spatial distribution in Cenderawasih Bay national park Papua, Indonesia. *AACL Bioflux* 7(4).
- Bawole, R., Rahayu, M., Rembet, U.N.W.J., Ananta, A.S., Runtuboi, F. and Sala, R. 2017. Growth and mortality rate of the napan-yaur coral trout, *Plectropomus leopardus* (Pisces: Serranidae), cenderawasih bay national park, Indonesia. *Biodiversitas* 18(2). doi: 10.13057/biodiv/d180245.

- Bawole, R., Rumere, V., Mudjirahayu, M. and Pattiasina, T.F. 2013. Performance of Coral Reef Management within Marine Protected Areas: Integrating Ecological, Socioeconomic, Technological, and Institutional Dimensions. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika (Journal of Tropical Forest Management)*. doi: 10.7226/jtfm.19.1.63.
- Bawole, R., Yulianda, F., Bengen, D.G., Fahrudin, A. and Mudjirahayu, M. 2015. Socio-Ecological System within Governance of Marine Protected Area: Case from Cenderawasih Bay National Park, Indonesia. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika (Journal of Tropical Forest Management)* 21(1), pp. 19–24. Available at: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jmht/article/view/9493>.
- Bawole, R., Yulianda, F., Bengen, D.G., Fahrudin, A. and Mudjirahayu4. 2019. Governability of marine protected areas : The effect of trade-offs , hybrid patterns , and policy implications in Cenderawasih Bay National Park , Indonesia Governability of marine protected areas : The effect of trade- offs , hybrid patterns , and policy. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 278(3), pp. 1–14. doi: 10.1088/1755-1315/278/1/012011.
- Bawole Roni; Megawanto, R. 2017. Coastal And Ocean Establishing Of Aquatic Protected Areas (Apas) Network In Papua' S Bird Head Seasscape. *Coastal And Ocean Journal* 1(September), pp. 189–200.
- Becker-Weinberg, V. 2023. Enhancing marine protected areas and marine spatial planning through an ecosystem approach. In: *Research Handbook on*

International Marine Environmental Law: Second Edition. doi: 10.4337/9781789909081.00030.

- Belle, C.C., Stoeckle, B.C. and Geist, J. 2019. Taxonomic and geographical representation of freshwater environmental DNA research in aquatic conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 29(11). doi: 10.1002/aqc.3208.
- Bio, J., Sci, E., Yeboah Ofori, B. and Korley Attuquayefio, D. 2012. *How are our protected areas doing? management effectiveness of three protected areas in Ghana.*
- Borrini-Feyerabend, G., Dudley, N., Jaeger, T., Lassen, B., Pathak Broome, N., Phillips, A. and Sandwith, T. 2013. *Governance of Protected Areas: From understanding to action.*
- Brown, J.Z. and Johnson, J.E. 2001. Population biology and growth of Ozark cavefish in Logan Cave national wildlife refuge, Arkansas. *Environmental Biology of Fishes* 62(1–3). doi: 10.1023/A:1011860821932.
- Budiharjo, A. 2010. KOMPOSISI JENIS LARVA SIDAT (*Anguilla* spp.) YANG BERMIGRASI KE MUARA SUNGAI PROGO, YOGYAKARTA. *Berkala Penelitian Hayati* 15(2). doi: 10.23869/bphjbr.15.2.20104.
- Charles, A. and Wilson, L. 2009. Human dimensions of Marine Protected Areas.
- Christie, P. 2005. Observed and perceived environmental impacts of marine protected areas in two Southeast Asia sites. *Ocean & Coastal Management* 48(3), pp. 252–270. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569105000566>.

- Coleman, F.C., Baker, P.B. and Koenig, C.C. 2004. A review of Gulf of Mexico marine protected areas: Successes, failures, and lessons learned. *Fisheries* 29.
- Dahlin, K.M., Zarnetske, P.L., Read, Q.D., Twardochleb, L.A., Kamoske, A.G., Cheruvelil, K.S. and Soranno, P.A. 2021. Linking Terrestrial and Aquatic Biodiversity to Ecosystem Function Across Scales, Trophic Levels, and Realms. *Frontiers in Environmental Science* 9. doi: 10.3389/fenvs.2021.692401.
- Day, J.C. et al. 2015. Marine Protected Area Management. *Protected Area Governance and Management*, pp. 609–650.
- Drescher, M. and Brenner, J.C. 2018. The practice and promise of private land conservation. *Ecology and Society* 23(2). doi: 10.5751/ES-10020-230203.
- Efendi, *Niko and Carolina, H.S. 2023. KEANEKARAGAMAN IKAN AIR TAWAR DI SUNGAI SAKTI BUANA, KABUPATEN LAMPUNG TENGAH. *BIOLOVA* 4(1). doi: 10.24127/biolova.v4i1.3360.
- Escartín, E. and Porte, C. 1999. Assessment of PAH pollution in coastal areas from the NW Mediterranean through the analysis of fish bile. *Marine Pollution Bulletin* 38(12). doi: 10.1016/S0025-326X(99)00162-9.
- Fahmi, M.R. 2015. Konservasi genetik ikan sidat tropis (*Anguilla* spp) di perairan Indonesia. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia* 21(1), pp. 45–54.
- Farhan Rijaluddin, A. et al. 2017. *Community Structure of Macrozoobenthos at Situ Gintung, Situ Bungur and Situ Kuru, Ciputat Timur.*

- Gooden, J. and 't Sas-Rolfes, M. 2020. A review of critical perspectives on private land conservation in academic literature. *Ambio* 49(5). doi: 10.1007/s13280-019-01258-y.
- Gustiano, R., Kurniawan, K. and Haryono, H. 2021. Optimizing the Utilization of Genetic Resources of Indonesian Native Freshwater Fish. *Asian Journal of Conservation Biology* 10(2). doi: 10.53562/ajcb.67022.
- Hakim, A.A. 2015. Penentuan Kawasan Perikanan Refugia Ikan Sidat (*Anguilla* spp.) dari beberapa sungai yang bermuara ke Teluk Palabuhanratu, Sukabumi, Jawa Barat. *Tesis IPB* (March).
- Hakim, A.A., Kamal, M.M., Butet, N.A. and Affandi, R. 2016. KOMPOSISI SPESIES IKAN SIDAT (*Anguilla* spp.) DI DELAPAN SUNGAI YANG BERMUARA KE TELUK PALABUHANRATU, SUKABUMI, INDONESIA. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 7(2).
- Halpern, B.S. 2003. THE IMPACT OF MARINE RESERVES : DO RESERVES W ORK AND DOES RESERVE SIZE MATTER ? *Ecological Applications* 13(1).
- Halpern, B.S., Mcleod, K.L., Rosenberg, A.A. and Crowder, L.B. 2008. Managing for cumulative impacts in ecosystem-based management through ocean zoning. 51, pp. 203–211. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2007.08.002.
- Halpern, B.S. and Warner, R.R. 2003. Matching marine reserve design to reserve objectives. (March), pp. 1871–1878. doi: 10.1098/rspb.2003.2405.
- Henan, Z., Tebay, S., Bawole, R., Sala, R., Boli, P. and Purba, G.Y.S. 2021. Strategi Pengelolaan Perikanan Udang

Pasca Moratorium Perikanan Di Provinsi Papua Barat. 5(2).

- Howard, J.K. et al. 2018. A freshwater conservation blueprint for California: Prioritizing watersheds for freshwater biodiversity. *Freshwater Science* 37(2). doi: 10.1086/697996.
- Howarth, R.W. et al. 2000. Nutrient pollution of coastal rivers, bays, and seas. *Issues in ecology* (7), pp. 1–16.
- Howes, L., Scarpaci, C. and Parsons, E.C.M. 2012. Ineffectiveness of a marine sanctuary zone to protect burrunan dolphins (*Tursiops australis* sp.nov.) from commercial tourism in Port Phillip Bay, Australia. *Journal of Ecotourism* 11(3), pp. 188–201. doi: 10.1080/14724049.2012.713362.
- Hughes, T.P., Bellwood, D.R., Folke, C.S., McCook, L.J. and Pandolfi, J.M. 2007. No-take areas, herbivory and coral reef resilience. *Trends in Ecology and Evolution* 22(1), pp. 1–3. doi: 10.1016/j.tree.2006.10.009.
- Hukom, F.D. and Bawole, R. 1999. Correlation between coral growth forms and butterfly fishes (Chaetodontidae) at Sele Strait, Irian Java, Indonesia. *Science in New Guinea* 24(3).
- Humphreys, J. and Clark, R.W.E. 2019. A critical history of marine protected areas. In: *Marine Protected Areas: Science, Policy and Management*. doi: 10.1016/B978-0-08-102698-4.00001-0.
- Jentewo, Y.A. et al. 2021. Sizing and scarring of whale shark (*Rhincodon typus* Smith, 1828) in the Cenderawasih Bay National Park. *Jurnal Iktiologi Indonesia* 21(3). doi: 10.32491/jii.v21i3.587.

- Jentoft, S., van Son, T.C. and Bjørkan, M. 2007. Marine protected areas: A governance system analysis. *Human Ecology* 35(5), pp. 611–622. doi: 10.1007/s10745-007-9125-6.
- Jones, P.J.S. 2002. Marine protected area strategies: Issues, divergences and the search for middle ground. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 11(3). doi: 10.1023/A:1020327007975.
- Kaber, Y., Yulianda, F., Bengen, D.G., Dahuri, R., Bawole, R. and Manangkalangi, E. 2023. The Management of Seagrass Ecosystem as an Attractive Object of Ecotourism in the Coastal Areas of Yensawai and Arefi, in Dampier Strait Marine Protected Area, Raja Ampat. *Asian Journal of Advanced Research and Reports* 17(6). doi: 10.9734/ajarr/2023/v17i6484.
- Kaliele, M.Y., Bawole, R. and Kawulur, I. 2017. PENGELOLAAN IKAN PELANGI ARFAK (*Melanotaenia arfakensis* Allen , 1990) BERBASIS ASPEK BIOEKOLOGI (Kasus Pada Beberapa Sungai di Kabupaten Manokwari). *Sumberdaya Akuatik Indopasifik* 1(1).
- Kaliele, M.Y., Bawole, R. and Kawulur, I.E. 2018. Management of Arfak Rainbow Fish Based on Bioecological Aspect (Case in Some River in Manokwari). *JURNAL SUMBERDAYA AKUATIK INDOPASIFIK*. doi: 10.30862/jsai-fpik-unipa.2018.vol.2.no.2.56.
- Karamoy, R.H., Sala, R. and Bawole, R. 2022. Distribusi komposisi ukuran dan pola pertumbuhan Ikan Selar Kuning (*Selaroides leptolepis*) di Perairan Utara Manokwari. *Cassowary* 5(2). doi: 10.30862/cassowary.cs.v5.i2.128.

- Kasihiw, P. et al. 2023. Floristic richness and diversity of Bintuni mangrove, Bird's Head Peninsula, West Papua, Indonesia. *Biodiversitas* 24(5). doi: 10.13057/biodiv/d240543.
- Kasihiw, P. et al. 2024. Mangrove distribution to support biodiversity management in Teluk Bintuni District, West Papua, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 25(2).
- Kelleher, G. and Recchia, C. 1998. Editorial—lessons from marine protected areas around the world. *Parks* 8, p. 1.
- Kelleher, Graeme; Kenchington, R. 1991. *Guidelines for Establishing Marine Protected Areas*. IUCN, Gland, Switzerland.
- Kerns, J.A., Allen, M.S., Dotson, J.R. and Hightower, J.E. 2015. Estimating Regional Fishing Mortality for Freshwater Systems: a Florida Largemouth Bass Example. *North American Journal of Fisheries Management* 35(4). doi: 10.1080/02755947.2015.1040561.
- Kocovsky, P.M. and Carline, R.F. 2001. Dynamics of the Unexploited Walleye Population of Pymatuning Sanctuary, Pennsylvania, 1997–1998. *North American Journal of Fisheries Management* 21(1). doi: 10.1577/1548-8675(2001)021<0178:dotuwp>2.0.co;2.
- Lahumeten, F., Bawole, R., Sala, R. and Suruan, S. 2019. KOMPOSISI JENIS-JENIS IKAN LAYANG spp .) BERDASARKAN HASIL TANGKAPAN NELAYAN BAGAN DI TELUK Composition of Decapterus spp . Based on Catch of Fisherman in Doreri Bays , Manokwari. *Journal of Aquaculture and Fish Health* 8(2).

- Lang, C., VanCeylon, J. and Ando, A.W. 2023. Distribution of capitalized benefits from land conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 120(118). doi: 10.1073/pnas.2215262120.
- Leenhardt, P., Low, N., Pascal, N., Micheli, F. and Claudet, J. 2015. Chapter 9 - The Role of Marine Protected Areas in Providing Ecosystem Services A2 - Belgrano, Andrea. *Aquatic Functional Biodiversity*.
- Lester, S.E. et al. 2009. Biological effects within no-take marine reserves: A global synthesis. *Marine Ecology Progress Series* 384, pp. 33–46. doi: 10.3354/meps08029.
- Lester, S.E. and Halpern, B.S. 2008. Biological responses in marine no-take reserves versus partially protected areas. 367, pp. 49–56. doi: 10.3354/meps07599.
- Linke, S., Turak, E. and Nel, J. 2011. Freshwater conservation planning: The case for systematic approaches. *Freshwater Biology* 56(1). doi: 10.1111/j.1365-2427.2010.02456.x.
- Listyawati, H. 2012. KONFLIK PEMANFAATAN SUMBER DAYA AIR UNTUK IRIGASI DI KECAMATAN MINGGIR KABUPATEN SLEMAN. *Mimbar Hukum - Fakultas Hukum Universitas Gadjah Mada* 23(3). doi: 10.22146/jmh.16174.
- Machbub, B. 2010. Model Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau dan Waduk. *Jurnal Sumber Daya Air* 6(2).
- Marganof, Darusman, L.K., Riani, E. and Pramudya, B. 2007. Analisis Beban Pencemaran Kapasitas Asimilasi dan

Tingkat Pencemaran dalam upaya pengendalian Pencemaran Perairan Danau Maninjau. *Jurnal Perikanan dan Kelautan* 12(1).

Mawardi, M. 2014. Air Dan Masa Depan Kehidupan. *Tarjih: Jurnal Tarjih dan Pengembangan Pemikiran Islam* 12(1).

Means, M.L. and Johnson, J.E. 1995. Movement of Threatened Ozark Cavefish in Logan Cave National Wildlife Refuge, Arkansas. *The Southwestern Naturalist* 40(3).

Miller, K.I. and Russ, G.R. 2014. Studies of no-take marine reserves: Methods for differentiating reserve and habitat effects. *Ocean and Coastal Management* 96, pp. 51–60. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.05.003>.

Minckley, W.L. and Deacon, J.E. 1991. Battle against extinction: native fish management in the American West. *Battle against extinction: native fish management in the American West*. doi: 10.2307/1447168.

Mudjirahayu, Bawole, R., Rembet, U.N.W.J., Ananta, A.S., Runtuboi, F. and Sala, R. 2017. Growth, mortality and exploitation rate of *Plectropomus maculatus* and *P. oligocanthus* (Groupers, Serranidae) on Cenderawasih Bay National Park, Indonesia. *The Egyptian Journal of Aquatic Research* 43(3), pp. 213–218. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687428517300456> [Accessed: 1 March 2018].

Muthmainnah, D. and Fatah, K. 2021. Keberlanjutan Kegiatan Perikanan Darat Nelayan Skala Kecil Selama Masa Pandemi Covid-19 dan Mendatang (Studi Kasus di

Danau Semayang, Kalimantan Timur). *Seminar Nasional Lahan Suboptimal* 9(1).

Ningtas, J.L.P., Susanti, E. and Miradhia, D. 2022. STRATEGI PEMBANGUNAN MASYARAKAT DESA MELALUI PROGRAM PERIKANAN DARAT DI DESA SEPAKAT BERSATU KECAMATAN RIMBO ILIR KABUPATEN TEBO. *JANE - Jurnal Administrasi Negara* 14(1). doi: 10.24198/jane.v14i1.41275.

Niode, S., Hasim, H. and Kasim, F. 2021. Tingkat Kontaminasi Logam Berat Merkuri (Hg) di Perairan Danau Limboto. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan* 9(3).

Nofdianto, N. and Tanjung, L.R. 2019. KERAPATAN POPULASI MAKROFITA BERPENGARUH TERHADAP KELIMPAHAN DAN KEANEKARAGAMAN MIKROALGA EPIFITON DI DANAU TEMPE. *Limnotek : perairan darat tropis di Indonesia* 26(2). doi: 10.14203/limnotek.v26i2.275.

Noor, S.Y. and Ngabito, M. 2018. TINGKAT PENCEMARAN PERAIRAN DANAU LIMBOTO GORONTALO. *Gorontalo Fisheries Journal* 1(2). doi: 10.32662/gfj.v1i2.437.

Potapov, A.M., Brose, U., Scheu, S. and Tiunov, A. V. 2019. Trophic position of consumers and size structure of food webs across aquatic and terrestrial ecosystems. *American Naturalist* 194(6). doi: 10.1086/705811.

Prianto, E., Puspasari, R., Oktaviani, D. and Aisyah, A. 2017. Status pemanfaatan dan upaya pelestarian ikan endemik air tawar di Pulau Sumatera. *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia* 8(2), pp. 101–110.

Refideso, S., Sala, R., Bawole, R. and Rahayu, M. 2023. Pola pertumbuhan dan laju mortalitas Kepiting Bakau

- (jantan dan betina) jenis *Scylla tranquebarica* dan *Scylla olivacea* di Perairan Teluk Bintuni, Provinsi Papua Barat. *Cassowary* 6(2). doi: 10.30862/cassowary.cs.v6.i2.180.
- Reid, D.M., Anderson, D.M. and Henderson, B.A. 2001. Restoration of Lake Trout in Parry Sound, Lake Huron. *North American Journal of Fisheries Management* 21(1). doi: 10.1577/1548-8675(2001)021<0156:roltip>2.0.co;2.
- Runtuboi, F. et al. 2019. Inventarisasi Jenis Ikan Karang dan Komposisi Jenis Ikan Ekonomis Penting (Study Kasus Kampung Kornasoren, Saribi dan Syoribo) Pulau Numfor Kabupaten Biak Numfor. *Journal of Tropical Fisheries Management* 2(1). doi: 10.29244/jppt.v2i1.25313.
- Runtuboi, F., Tapilatu, R.F., Matulessy, M., Loinenak, F.A., Alianto, Bawole, R. and Bartholomeus, M.L.R. 2018. The existing values of small Island's Vulnerability index based on exposure dimension: A case study of kawae regional marine protected area in Raja Ampat, Indonesia. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences* 20(2).
- Rusandi, A., Hakim, A., Wiryawan, B. and Yulianto, I. 2021. Pengembangan kawasan konservasi untuk mendukung pengelolaan perikanan yang berkelanjutan di Indonesia. *Marine Fisheries: Journal of Marine Fisheries Technology and Management* 12(2), pp. 137–147.
- Russ, G.R., Stockwell, B. and Alcala, A.C. 2005. Inferring versus measuring rates of recovery in no-take marine reserves. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 292, p. 1.

- Sala, E. and Giakoumi, S. 2018. No-take marine reserves are the most effective protected areas in the ocean. *ICES Journal of Marine Science* 75(3), pp. 1166–1168. doi: 10.1093/icesjms/fsx059.
- Sala, R. et al. 2022. Catch structures, growth patterns and condition factor of grouper fish (Serranidae) caught in the waters near Wayaban, Misool, Raja Ampat. *AACL Bioflux* 15(1).
- Sala, R., Bawole, R., Bonggoibo, A., Pattiasina, T.F., Suruan, S. and Runtuboi, F. 2021a. Analisis Pola Pertumbuhan dan Morfometrik Udang Jerbung (*Penaeus merguensis* De Man, 1888) di Perairan Sekitar Bakoi, Sorong Selatan. *Musamus Fisheries and Marine Journal*. doi: 10.35724/mfmj.v3i2.3401.
- Sala, R., Bawole, R., Pattiasina, T.F., Runtuboi, F., Kondjol, S. and Suruan, S. 2021b. Sumber Daya Perikanan Laut Perairan Sorong Selatan: Pemanfaatan dan Pengelolaan Berkelanjutan.
- Sala, R., Bawole, R., Pattiasina, T.F., Runtuboi, F., Kondjol, S. and Suruan, S. 2021c. Sumberdaya Perikanan Laut Sorong Selatan.
- Sala, R., Siahaan, T.M.B., Bawole, R., Mudjirahayu, M. and Patanda, M. 2023. Growth and Exploitation Status of Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*) in Waters Around Manokwari. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik* 7(1). doi: 10.46252/jsai-fpik-unipa.2023.vol.7.no.1.251.
- Sale, P.F. et al. 2005. Critical science gaps impede use of no-take fishery reserves. 20(2). doi: 10.1016/j.tree.2004.11.007.

- Samori, F., Bawole, R. and Tebay, S. 2021. Struktur dan Vegetasi Mangrove di Warambui Distrik Oransbari Manokwari Selatan Provinsi Papua Barat. *Jurnal Riset Perikanan*
- Sanchirico, J.N., Cochran, K. a. and Emerson, P.M. 2002. Marine Protected Areas: Economic and Social Implications. *Resources for the Future* May 2002(May), p. 24. Available at: <http://biodiv.org/doc/case-studies/inc/cs-inc-rf-04-en.pdf>.
- Sanyanga, R.A., Machena, C. and Kautsky, N. 1995. Abundance and distribution of inshore fish in fished and protected areas in Lake Kariba, Zimbabwe. *Hydrobiologia* 306(1). doi: 10.1007/BF00007859.
- Scholik, A.R. and Yan, H.Y. 2000. Effects of underwater noise on auditory sensitivity of a cyprinid fish. *The Journal of the Acoustical Society of America* 107(5_Supplement). doi: 10.1121/1.428959.
- Scholik, A.R. and Yan, H.Y. 2002. Effects of boat engine noise on the auditory sensitivity of the fathead minnow, *Pimephales promelas*. *Environmental Biology of Fishes* 63(2). doi: 10.1023/A:1014266531390.
- Schram, S.T., Selgeby, J.H., Bronte, C.R. and Swanson, B.L. 1995. Population Recovery and Natural Recruitment of Lake Trout at Gull Island Shoal, Lake Superior, 1964–1992. *Journal of Great Lakes Research* 21. doi: 10.1016/S0380-1330(95)71095-4.
- Sembiring, J., Merly, S.L., Herdjiono, M.V.I., Pangaribuan, R.D., Untari, U., Mangera, Y. and Praptiwi, I.I. 2024. Biodiversity in Swamp Ecosystem in Sukamaju Village, Malind District, Merauke Regency, South Papua

Province, Indonesia. *Indian Journal of Animal Research* (Of). doi: 10.18805/ijar.bf-1689.

- Setyadi, G., Wijayanti, D.P., Pribadi, R., Sugianto, D.N., Ambariyanto, A., Widowati, I. and Bawole, R. 2022. The status and diversity of mangroves on the south coast of Papua Island, Indonesia, and a strategy for sustainable mangrove management. *Asian Journal of Conservation Biology* 11(1).
- Shephard, S., Reid, D.G., Gerritsen, H.D. and Farnsworth, K.D. 2014. Estimating biomass, fishing mortality, and “total allowable discards” for surveyed non-target fish. *ICES Journal of Marine Science* 72(2), pp. 458–466. doi: 10.1093/icesjms/fsu146.
- Sraun, M., Bawole, R., Marwa, J., Sinery, A.S. and Cabuy, R.L. 2023. Assessing Environmental Factors on the Growth and Distribution of Mangrove Seedlings Along the Bintuni Riverbank Area, Bintuni Bay, West Papua, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering* 24(8). doi: 10.12911/22998993/162776.
- Sraun, M., Bawole, R., Sineri, A., Cabuy, R.L. and Marwa, J. 2022. Diversity, composition, structure and canopy cover of mangrove trees in six locations long Bintuni riverbank, Bintuni Bay, West Papua, Indonesia.
- Stockwell, B., Jadloc, C.R.L., Abesamis, R.A., Alcala, A.C. and Russ, G.R. 2009. Trophic and benthic responses to no-take marine reserve protection in the Philippines. *Marine Ecology Progress Series* 389, pp. 1–15. doi: 10.3354/meps08150.
- Suardiani, N.K., Arthana, I.W. and Kartika, G.R.A. 2018. Produktivitas Primer Fitoplankton pada Daerah

- Penangkapan Ikan di Taman Wisata Alam Danau Buyan, Buleleng, Bali. *Current Trends in Aquatic Science* 1(1). doi: 10.24843/ctas.2018.v01.i01.p02.
- Sugianti, Y., Anwar Putri, M.R. and Purnamaningtyas, S.E. 2020. Spesies Ikan Sidat (Anguilla spp.) dan Karakteristik Habitat Ruayanya di Sungai Cikaso, Sukabumi, Jawa Barat. *Limnotek: perairan darat tropis di Indonesia* 27(1). doi: 10.14203/limnotek.v27i1.329.
- Suruan, S.S., Kamal, M.M., Bawole, R., Tania, C. and Mulyadi. 2018. Sebaran Populasi Ikan Hiu Paus (*Rhincodon typus*, Smith 1828) di Perairan Kwatisore, Kabupaten Nabire, Provinsi Papua. *Prosiding Simposium Nasional Hiu Pari Indonesia Ke-2 Tahun 2018*.
- Suski, C.D. and Philipp, D.P. 2004. Factors Affecting the Vulnerability to Angling of Nesting Male Largemouth and Smallmouth Bass. *Transactions of the American Fisheries Society* 133(5). doi: 10.1577/t03-079.1.
- Syafei, L.S. 2017. Keanekaragaman hayati dan konservasi ikan air tawar. *Jurnal Penyuluhan Perikanan dan Kelautan* 11(1), pp. 48–62.
- Sztramko, L.K. 1985. Effects of a Sanctuary on the Smallmouth Bass Fishery of Long Point Bay, Lake Erie. *North American Journal of Fisheries Management* 5(2B). doi: 10.1577/1548-8659(1985)5<233:eoasot>2.0.co;2.
- Villasante, S., Ainsworth, G.B., Pita, P., Belgrano, A., Bennett, N. and Sumaila, U.R. 2023. The role of marine protected areas (MPAs) in providing ecosystem services to improve ocean and human health. In: *Oceans and Human Health: Opportunities and Impacts*. doi: 10.1016/B978-0-323-95227-9.00013-0.

- Wegener, M.G., Schramm, H.L., Neal, J.W. and Gerard, P.D. 2018. Effect of fishing effort on catch rate and catchability of largemouth bass in small impoundments. *Fisheries Management and Ecology* 25(1). doi: 10.1111/fme.12268.
- Westhead, M.C., Fenton, D.G., Koropatnick, T.A., Macnab, P.A. and Moors, H.B. 2012. Filling the gaps one at a time: The gully marine protected area in Eastern Canada. A response to agardy, notarbartolo di sciara and christie. *Marine Policy* 36(3). doi: 10.1016/j.marpol.2011.10.022.
- Wielgus, J., Sala, E. and Gerber, L.R. 2008. Assessing the ecological and economic benefits of a no-take marine reserve. *Ecological Economics* 67(1), pp. 32–40. doi: 10.1016/j.ecolecon.2008.04.019.
- Williams, J.E. 1991. Preserves and refuges for native western fishes: history and management. *Battle against extinction*. doi: 10.1016/0006-3207(93)90097-k.
- Xu, W. and Zhang, Z. 2022. Impact of Coastal Urbanization on Marine Pollution: Evidence from China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19(17). doi: 10.3390/ijerph191710718.
- Yarangga, G. et al. 2023. Condition and Status of Shrimp Fisheries in West Papua Province: Case from Bintuni Bay Regency, Sorong City, and South Sorong Regency. *Asian Journal of Advanced Research and Reports* 17(10). doi: 10.9734/ajarr/2023/v17i10535.

BIODATA PENULIS



Annisa Bias Cahyanurani, M.P.

Staf Dosen Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo
Program Studi Teknik Budidaya Perikanan

Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Budidaya Perikanan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada program studi Manajemen Sumberdaya Perairan di Universitas Brawijaya serta menempuh Pendidikan S2 melalui program *double degree* pada program studi Budidaya Perairan di Universitas Brawijaya dan program studi Aquaculture di National Pingtung University of Science and Technology (NPUST). Saat ini penulis menekuni berbagai penelitian di bidang Budidaya Perikanan. Penulis merupakan pengampu mata kuliah Teknik Produksi Pakan Buatan, Teknik Produksi Pakan Alami, Ekologi Perairan, Dasar-Dasar Budidaya Perikanan dan Pengelolaan Lingkungan Budidaya Perikanan.

BIODATA PENULIS



Angraeni., S.Pi, M.Si

Dosen Program Studi Ilmu Perikanan
Fakultas Saintek Universitas Cahaya Prima

Penulis lahir di Munte tanggal 03 September 1992. Penulis adalah dosen tetap sekaligus sekertaris Program Studi pada Program Studi Ilmu Perikanan Fakultas Saintek Universitas Cahaya Prima. Menyelesaikan Pendidikan S1 pada Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan Jurusan Perikanan Universitas Hasanuddin pada tahun 2014 dan melanjutkan S2 pada Program Studi Ilmu Perikanan Universitas Hasanuddin tahun 2019. Pada tahun 2016 penulis bekerja di PT. Permodalan Nasional Madani (Persero).

BIODATA PENULIS



Raudhatus Sa'adah, S.Pi., M.Si

Dosen Program Studi Teknologi Pangan
Jurusan Rekayasa Teknologi dan Bisnis Pertanian
Politeknik Negeri Sriwijaya

Penulis lahir di Bandar Lampung tanggal 29 November 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Pangan Jurusan Rekayasa Teknologi dan Bisnis Pertanian, Politeknik Negeri Sriwijaya. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Budidaya Perairan Universitas Sriwijaya dan melanjutkan S2 pada Program Studi Pengelolaan Lingkungan Universitas Sriwijaya.

BIODATA PENULIS



Tri Ari Setyastuti, S.P, M.Si

Dosen Program Studi Teknik Penanganan Patologi
Perikanan Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo.

Penulis lahir di Kudus tahun 1973. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Penanganan Patologi Perikanan Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Fakultas Pertanian Universitas Mataram pada tahun 1997 dan melanjutkan S2 pada Ilmu Pengelolaan Pesisir dan Lautan Institut Pertanian Bogor tahun 2002. Penulis menekuni bidang ekosistem pesisir dan laut dengan konsentrasi penelitian pada interaksi antara ekosistem pesisir dan budidaya perikanan yang ramah lingkungan.

BIODATA PENULIS



Prof. Dr. Ir. Roni Bawole, M.Si.

Dosen Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Papua (UNIPA), Manokwari, Papua Barat

Prof. Dr. Ir. Roni Bawole, M.Si. sebagai guru besar dalam ilmu kelautan (bidang pengelolaan sumberdaya pesisir dan laut). Menyelesaikan studi doktor pada Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan, Institut Pertanian Bogor tahun 2012. Sebagai staf dosen pada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK) Universitas Papua (UNIPA). Saat ini menjabat sebagai Ketua Lembaga Penjaminan Mutu dan Pengembangan Pembelajaran, UNIPA. Sebagai pengajar pada FPIK dan Pascasarjana Program Magister Sumber Daya Akuatik, Magister dan Doktor Ilmu Lingkungan. Terlibat dalam penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Papua dan Papua Barat, menyusun dokumen Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (RZWP-3K) Papua dan Papua Barat, menyusun dokumen Kajian Lingkungan Hidup Strategis-(KLHS)-RZWP-3K. Makalah dipresentasikan pada berbagai forum internasional (*International Coral Reef Symposium, New Guinea Biological Conference, Ecosystem Fishery Based Management*, dll) dan nasional (Konas pesisir, Munas

Terumbu Karang, ISOI, dll). Penulis buku, diantaranya tata Kelola Kawasan Konservasi Laut, Sumberdaya Perikanan Laut Sorong Selatan, Inovasi Daerah Provinsi Papua Barat, Orang Asli Papua dalam Pengelolaan Pariwisata Berbasis Konservasi, Pengelolaan Perikanan Teluk Wondama, Pengelolaan Sumberdaya Perikanan, dll. Korespondensi: r.bawole@unipa.ac.id.***