

ISBN : 978-623-6464-01-4
e-ISBN: 978-623-6464-02-1(PDF)

BUKU AJAR

EKOLOGI PERAIRAN

Muhammad Akbarurrasyid, M.P

AMaFRaD  PRESS

EKOLOGI PERAIRAN

Dilarang memproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian dari buku dalam bentuk atau cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit

©Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang No.28 Tahun 2014
All Rights Reserved

EKOLOGI PERAIRAN

Penulis :

Muhammad Akbarurrasyid, M.P

Ekologi Perairan

Penulis :

Muhammad Akbarurrasyid, M.P

Perancang sampul :

Muhammad Akbarurrasyid, M.P

Penata Isi :

Muhammad Akbarurrasyid, M.P

Halaman : v + 59 halaman

Edisi/Cetakan : Cetakan pertama, 2021

Diterbitkan oleh :

AMAFRAD Press

**Badan Riset dan Sumber Daya Manusia
Kelautan dan Perikanan**

Gedung Mina Bahari III, Lantai 6,

Jl. Medan Merdeka Timur, Jakarta Pusat 10110

Telp. (021) 3513300 Fax: 3513287

Email : amafradpress@gmail.com

Nomor IKAPI: 501/DKI/2014

ISBN : 978-623-6464-01-4

e-ISBN : 978-623-6464-02-1 (PDF)

© 2021, Hak Cipta Dilindungi oleh Undang-undang.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyajikan buku yang berjudul **"Buku Ajar Ekologi Perairan"**. Buku ini dipersiapkan terutama untuk mahasiswa Budidaya Perairan sebagai bahan bacaan yang bisa menambah pengetahuan dan pemahaman bagi pembacanya.

Buku ini berisikan tentang pengertian dan prinsip dasar ekologi, ekosistem dan organisme perairan, pencemaran ekosistem pesisir, lingkungan perairan budidaya dan manajemen lingkungan perairan.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada berbagai pihak yang telah membantu sehingga dapat diterbitkan. Akhirnya semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang ingin mempelajari tentang ekologi perairan.

Pangandaran, Juli 2021

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir Ngurah N. Wiadnyana, DEA., Prof. Dr. Ketut Sugama, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Slingih Wibowo, M.S., Dr. Ing Widodo S. Pranowo, M.Si dan Dr. Ir. I Nyoman Suyasa, M.S, yang telah mengoreksi dan memberikan masukan kepada penulis sehingga buku ajar Ekologi Perairan ini menjadi lebih sempurna dan tersusun dengan baik.

Ucapan terima kasih juga Penulis sampaikan kepada Direktur Politeknik Kelautan dan Perikanan pangandaran dan rekan-rekan dosen serta tenaga pendidikan khususnya dari program studi Budidaya Ikan atas dukungan, kesempatan serta masukan yang berharga dalam penyelesaian buku ini.

Penulis

Contents

KATA PENGANTAR i

UCAPAN TERIMA KASIH ii

DAFTAR ISI iii

DAFTAR GAMBAR..... v

BAB I PENGERTIAN DAN PRINSIP DASAR EKOLOGI 1

 A. Ekologi dan Sistem Ekologi Perairan..... 1

 B. Sifat dan Daur Air 3

 C. Daur Biogeokimia 4

BAB II EKOSISTEM DAN ORGANISME PERAIRAN 9

 A. Ekosistem Perairan 9

 B. Klasifikasi Ekosistem Perairan 11

 C. Pola Interaksi Ekosistem Perairan..... 17

 D. Organisme Perairan 18

 F. Adaptasi Organisme Perairan 31

BAB III PENCEMARAN EKOSISTEM PERAIRAN 33

 A. Definisi Pencemaran Perairan 33

 B. Bahan dan Jenis-Jenis Limbah Pencemar Perairan..... 34

 C. Proses Terjadinya Pencemaran Perairan..... 37

 D. Dampak Pencemaran Terhadap Kehidupan Akuatik..... 38

 E. Pengendalian Pencemaran Perairan..... 40

 F. Regulasi Pengelolaan Kualitas Perairan 41

BAB IV LINGKUNGAN PERAIRAN BUDIDAYA..... 43

 A. Lingkungan Perairan Budidaya 43

 B. Budidaya Ramah Lingkungan 46

 C. Sistem Budidaya dan Kendalanya..... 47

BAB V MANAJEMEN LINGKUNGAN PERAIRAN 51

 A. Ruang Lingkup Pengelolaan Lingkungan Perairan 51

 B. Tujuan Pengelolaan Lingkungan Perairan..... 52

 C. Metode Pengelolaan Lingkungan Perairan..... 53

 D. Peran Penelitian dalam Pengelolaan Lingkungan Perairan..... 57

BAB VI PENUTUP 59

DAFTAR PUSTAKA 60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tipe-tipe perairan tawar.....	3
Gambar 2. Daur karbon dalam sistem ekologi perairan	5
Gambar 3. Daur fosfor dalam sistem ekologi perairan	5
Gambar 4. Daur nitrogen dalam sistem ekologi perairan	6
Gambar 5. Struktur trofik	11
Gambar 6. Stratifikasi Kolom Perairan	12
Gambar 7. Zonasi Ekosistem Perairan Laut.....	17

BAB I

PENGETIAN DAN PRINSIP DASAR EKOLOGI

Ekologi berasal dari kata Yunani, yaitu *oikos* dan *logos*. *Oikos* berarti lingkungan atau tempat hidup, sedangkan *logos* adalah ilmu. Secara harfiah, ekologi merupakan ilmu yang mempelajari lingkungan atau tempat hidup organisme-organisme perairan yang membentuk hubungan atau interaksi. Bab ini membahas tentang ekologi dan sistem ekologi perairan, sifat dan daur air serta daur biogeokimia.

A. Ekologi dan Sistem Ekologi Perairan

Kajian utama ekologi adalah hubungan timbal balik antara komponen-komponen yang terdapat di dalam lingkungan. Komponen di dalam perairan terbagi menjadi dua, yakni: komponen biotik (mahluk hidup) dan abiotik (benda mati). Hubungan timbal balik antara komponen-komponen yang terdapat di dalam lingkungan terjadi di dalam ekosistem perairan. Ekosistem perairan merupakan suatu sistem ekologi yang terbentuk oleh hubungan timbal balik antara mahluk hidup dengan lingkungannya. Secara umum, ekosistem dibedakan berdasarkan habitat atau tempat hidup dan dibagi menjadi tiga jenis, yakni: ekosistem terestrial, akuatik, dan buatan manusia yang tersusun oleh komponen biotik dan abiotik.

Secara umum, jenis ekologi memiliki prinsip-prinsip dasar yang sama, tetapi berbeda dalam hal jenis mahluk hidup penghuni, hubungan timbal baliknya dan metode atau teknik pengkajian yang berbeda. Perbedaan dapat menjadi ciri pada masing-masing sistem ekologi. Buku ini membahas hal-hal terkait dengan ekologi pada sistem perairan. Sistem perairan merupakan sistem kehidupan yang kompleks dimana air sebagai medium utama untuk hidup dan berkembang. Sebagai medium utama kehidupan dalam sistem perairan, kuantitas dan kualitas serta sifat air menjadi penentu kehidupan yang ada, disamping karakteristik dari berbagai sistem perairan. Sistem perairan merupakan seluruh hubungan timbal balik yang terjadi dalam ekologi perairan.

Ekologi perairan adalah kajian tentang semua habitat dan lingkungan atau komponen abiotik dan biotik dimana air sebagai medium utama. Habitat dan lingkungan perairan dapat membentuk hubungan interaksi atau timbal balik dengan organisme-organisme perairan yang terdapat di dalam lingkungan tersebut. Menurut Kurniawan (2018) berdasarkan bidang kajian, ekologi dapat dibagi menjadi dua, yakni:

1. Autoekologi adalah ekologi yang mengkaji suatu jenis (spesies) organisme yang berinteraksi dengan lingkungannya. Autoekologi menitik beratkan pada siklus hidup,

adaptasi terhadap lingkungan, sifat ataupun cara hidup dari spesies tertentu. Contoh autoekologi adalah telaah mengenai interaksi suatu jenis organisme seperti jenis ikan dengan lingkungannya.

2. Sinekologi adalah ekologi yang mengkaji kelompok organisme sebagai suatu kesatuan yang saling berinteraksi dalam satu lingkungan tertentu. Contoh sinekologi adalah kajian mengenai struktur dan komposisi tumbuhan air di suatu ekosistem perairan

Ekologi perairan dapat dibagi berdasarkan jenis ekosistem perairan. Ekosistem perairan merupakan suatu sistem ekologi yang terbentuk oleh hubungan timbal balik antara organisme-organisme perairan dengan lingkungan. Pembagian ekologi berdasarkan jenis ekosistem, yakni:

1. Ekologi air laut, keberadaan air laut sebagai medium utama pembentuk lingkungan perairan sangat mempengaruhi kondisi sistem perairan yang ada di ekosistem tersebut. Contoh dari ekologi perairan laut antara lain: ekologi estuari, ekologi terumbu karang, ekologi mangrove, ekologi lamun, ekologi laut dangkal dan ekologi laut dalam.
2. Ekologi perairan tawar, merupakan ekologi yang disusun berdasarkan keberadaan air tawar dalam sistem perairan. Ekologi perairan tawar dapat dibagi menjadi dua berdasarkan keberadaan dan pergerakan massa air, yaitu: (i) ekologi perairan menggenang (lentik) seperti danau, rawa dan kolam, dan (ii) ekologi perairan mengalir (lotik) seperti sungai, parit, selokan dan saluran irigasi.

Ekologi perairan harus dipahami sebagai ekologi sistem perairan yang memiliki berbagai faktor pembatas dalam ekologi. Faktor pembatas merupakan kebutuhan fundamental yang dibutuhkan oleh semua makhluk hidup dalam suatu ekosistem. Ekosistem sangat ditentukan oleh karakteristik lingkungan perairan yang merupakan tempat hidup dan berlangsungnya interaksi antara komponen. Secara umum, perairan adalah semua badan air dipermukaan bumi dimana perairan dapat dikelompokkan secara garis besar menjadi 2 bagian, yakni: perairan darat dan perairan laut.

1. Perairan Darat

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 1996 tentang perairan Indonesia menyatakan bahwa perairan darat merupakan segala perairan yang terletak pada darat dari garis air rendah, kecuali pada mulut sungai. Perairan darat terdiri dari sungai, rawa, sumber mata air, embung dan ekosistem perairan buatan. Perairan darat memiliki karakteristik berair tawar yang bersifat mengalir dan tergenang (Gambar. 1)



Perairan Mengalir



Perairan Tergenang

Gambar 1. Tipe-tipe perairan tawar (Sumber:Pxhere, 2020)

2. Perairan Laut

Laut merupakan kumpulan massa air terbesar di permukaan bumi, lebih dari 50% permukaan bumi tertutupi oleh air laut. Air laut memiliki karakteristik yang berbeda dengan air tawar, air laut memiliki salinitas atau kadar garam. *Salinitas air laut dapat dibedakan menjadi lima, yaitu: Oligohaline (0,5 – 3,0 ‰), Mesohaline (3,0 – 16,5 ‰), Polyhaline (16,5 – 30 ‰), Marine (30,0 - 40,0 ‰) dan Hypersaline (>40 ‰)*. Laut adalah tempat dimana terdapat berbagai aktivitas manusia yang padat, diantaranya sebagai jalur pelayaran, wisata air dan tempat nelayan melakukan penangkapan ikan serta tempat pemeliharaan atau pembudidayaan ikan.

B. Sifat dan Daur Air

Air merupakan komponen utama di dalam ekosistem perairan. Air memiliki fungsi fundamental sebagai medium tempat hidup dan berlangsungnya hubungan timbal balik antara komponen biotik dan abiotik yang terjadi di dalam ekosistem perairan. Oleh sebab itu, diperlukan pemahaman tentang sifat dasar air dan sistem kehidupan di dalamnya. Sifat dasar air merupakan faktor penting dalam mempelajari kehidupan organisme dalam ekosistem perairan. Kehidupan organisme perairan sangat dipengaruhi oleh air beserta substansi dan energi yang terdapat di dalamnya.

Sifat dasar air berpengaruh penting terhadap kehidupan organisme dalam ekosistem perairan. Sifat dasar air dapat dikelompokkan menjadi tiga, yakni: sifat fisik, kimia dan biologi.

1. Sifat fisik dapat ditemukan dalam ketiga wujud atau bentuk, yakni: bentuk gas sebagai uap air, bentuk padat sebagai es dan bentuk cair sebagai air.
2. Sifat kimia merupakan senyawa kimia yang tidak berwarna, tidak berbau dan tidak ada rasanya. Sifat kimia air pada umumnya terdiri dari *power of Hydrogen* (pH) dan oksigen terlarut / *Disolved Oxygen* (DO). Nilai pH air netral adalah 7, sedangkan nilai jenuh DO adalah 9 mg/L.

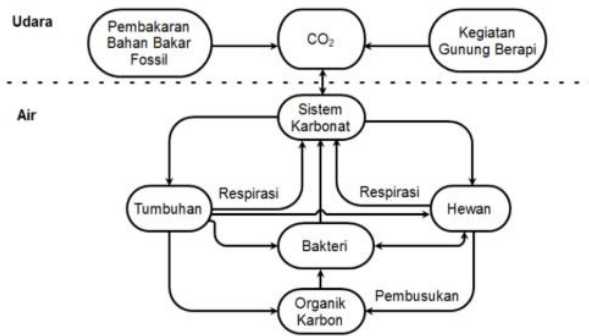
3. Sifat biologi merupakan sifat yang selalu terdapat di dalam perairan. Perairan merupakan tempat kehidupan organisme perairan seperti fauna dan flora.

Air tersusun atas komponen atom oksigen dan hydrogen membentuk senyawa kovalen biner (H_2O). Atom oksigen dan hydrogen memiliki nilai elektronegatif yang berbeda. Atom oksigen memiliki nilai elektronegatif yang besar bila dibandingkan dengan atom hydrogen, hal ini menyebabkan adanya ikatan hydrogen antar molekul air. Ikatan hydrogen menyebabkan air memiliki sifat-sifat yang khas seperti: air memiliki titik beku $0^{\circ}C$ dan titik didih $100^{\circ}C$, air memiliki sifat fisik, kimia dan biologi, pelarut yang berperan dalam perpindahan zat-zat makan dan sisa metabolisme pada proses-proses biologi, air memiliki stratifikasi berdasarkan kedalaman, sehingga mempengaruhi proses *thermal* pada sistem perairan dan merupakan pelarut yang baik (Kurniawan, 2018, Susana, 2003).

C. Daur Biogeokimia

Daur biogeokimia merupakan daur ulang air dan unsur-unsur kimia yang sangat penting dalam sistem perairan. Proses daur kimia yang terjadi melibatkan peran serta makhluk hidup dan bebatuan secara geofisik. Daur biogeokimia menjadi sangat dinamis karena terjadi pertukaran antara komponen biotik dan abiotik. Daur biogeokimia sangat berpengaruh pada kehidupan organisme-organisme perairan dalam ekosistem. Daur biogeokimia yang terkait dengan kehidupan organisme-organisme dalam ekosistem yakni: daur karbon, nitrogen, dan fosfor.

Karbon memiliki fungsi yang penting dalam proses pemanfaatan karbondioksida (CO_2) untuk keperluan proses fotosintesis. Karbon melakukan siklus perputaran antara biosfer, geosfer, hidrosfer dan atmosfer. Karbon di dalam perairan dapat ditemukan dalam bentuk karbonat, ion karbonat dan asam karbonat, Daur karbon (Gambar. 2) di perairan memerlukan bantuan organisme perairan, baik tumbuhan maupun hewan. Daur karbon terjadi seperti siklus rantai makanan. Karbon dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan untuk mengikat senyawa organik. Senyawa organik pada tumbuhan dimanfaatkan oleh organisme-organisme herbivora dan omnivora, kemudian berpindah kepada karnivora atau omnivora melalui proses makan dan di makan (predasi).

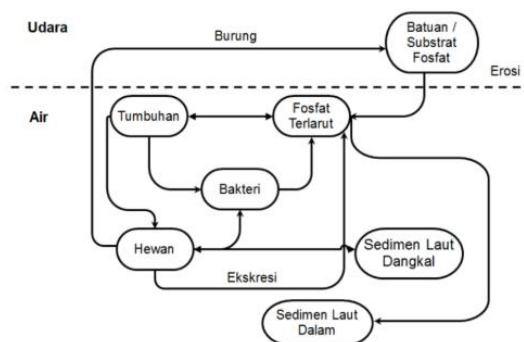


Sumber: Kurniawan, (2018)

Gambar 2. Daur karbon dalam sistem ekologi perairan

Hasil akhir karbon dalam daur karbon tersimpan dalam bentuk respirasi dan penguraian oleh bakteri. Daur karbon memungkinkan terjadinya proses penghilangan karbon dalam bentuk senyawa karbonat seperti yang terikat pada cangkang moluska yang tersimpan pada dasar laut sebagai endapan kapur. Siklus karbon di perairan sangat dipengaruhi oleh kelompok organisme fotosintetik seperti fitoplankton. Fitoplankton dapat menyerap jumlah karbon melalui proses fotosintesis (Firdaus dan Wjayanti, 2019)

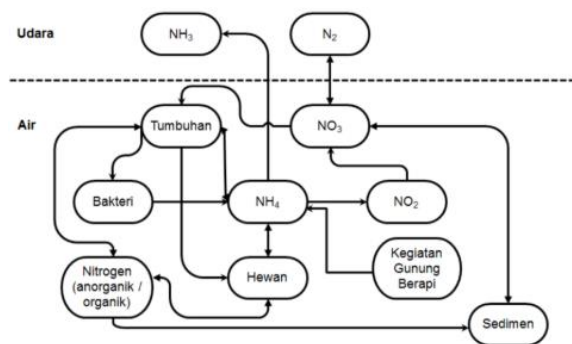
Fosfor di perairan dapat ditemukan dalam bentuk senyawa anorganik dan organik. Senyawa anorganik yang terlarut dalam perairan dapat dilihat dalam bentuk polifosfat dan ortofosfat, sedangkan fosfor dapat ditemukan dalam bentuk senyawa organik partikulat. Daur fosfor (Gambar. 3) terjadi melalui beberapa proses, salah satunya adalah melalui proses erosi. Proses erosi membawa fosfor yang berasal dari batuan sedimen dan pelapukan batuan dalam bentuk garam fosfat. Fosfor dalam perairan berpindah melalui tumbuhan dan hewan melalui rantai makanan seperti daur karbon. Fosfor dalam perairan dapat hilang apabila fosfor yang terikat atau dalam sedimen tidak dimanfaatkan oleh organisme perairan.



Sumber: Kurniawan, (2018)

Gambar 3. Daur fosfor dalam sistem ekologi perairan

Nitrogen terbesar berasal dari udara (N_2) kemudian terdifusi ke dalam perairan melalui beberapa proses seperti hujan dan letusan gunung api dalam bentuk nitrat (NO_3). Proses difusi nitrogen merupakan daur nitrogen (Gambar. 4) yang terdifusi menjadi nitrat. Nitrat yang masuk ke dalam perairan dimanfaatkan oleh organisme perairan dan mengendap ke dalam dasar perairan (sedimen). Nitrat yang mengendap akan dimanfaatkan oleh bakteri sehingga menjadi bahan nitrogen organik (N-organik) dan nitrogen anorganik (N-anorganik), sedangkan organisme perairan (bakteri) mengurai nitrogen yang perairan yang sudah mati, sisa pakan dan kotoran sisa yang menjadi ammonia (NH_3) dan ammonium (NH_4) dengan memanfaatkan bakteri pengurai. Ammonium kemudian dimanfaatkan oleh tumbuhan dan hewan perairan dan sebagian dilepaskan kembali ke udara dalam bentuk nitrogen. Ammonium yang dimanfaatkan oleh tumbuhan akan diserap oleh hewan perairan melalui jaring-jaring makanan.



Sumber: Kurniawan, (2018)

Gambar 4. Daur nitrogen dalam sistem ekologi perairan

Nitrogen di perairan memiliki beberapa bentuk tergantung pada proses transformasi nitrogen berdasarkan komposisi bakteri pengurai (dekomposisi). Transformasi nitrogen dapat berupa ammonia (NH_3), ammonium (NH_4) nitrit (NO_2), nitrat (NO_3) dan gas nitrogen (N_2). Proses transformasi meliputi beberapa tahapan (Effendie, 2003), yakni:

1. Difusi nitrogen adalah masuknya nitrogen ke perairan melalui proses deposit dari atmosfer, kelarutan air hujan dan pengendapan debu-debu halus.
2. Fiksasi nitrogen adalah perubahan ammonia menjadi nitrogen organik
3. Asimilasi ammonia dan nitrat menjadi nitrogen organik dilakukan oleh bakteri pengurai seperti *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus* dan *Nitrosolobus* dengan menggunakan N-anorganik
4. Nitrifikasi yang berperan adalah bakteri aerob. Bakteri aerob membantu proses transformasi oksidasi ammonia menjadi nitrit dan menjadi nitrat

5. Amonifikasi adalah proses penguraian bahan organik yang terdekomposisi menjadi asam amino dan amoniak
6. Denitrifikasi adalah perombakan kembali nitrat menjadi nitrit (NO_2), dinitrogen oksida (N_2O) dan gas nitrogen (N_2) dengan bantuan bakteri *Bacillus cereus*, *Pseudomonas denitrificants*, *Micrococcus*, *Thiobacillus denitrificants* dan *Achromabacter*.

BAB II

EKOSISTEM DAN ORGANISME PERAIRAN

Ekosistem merupakan ilmu yang mempelajari tentang sistem ekologi yang terjadi antara makhluk hidup dengan lingkungannya. Sistem ekologi terbentuk oleh hubungan timbal balik yang tidak terpisahkan antara makhluk hidup atau organisme perairan dan lingkungan. Bab ini membahas tentang ekosistem perairan, klasifikasi ekosistem perairan, pola interaksi ekosistem perairan, faktor pembatas ekosistem perairan, organisme perairan dan adaptasi organisme perairan.

A. Ekosistem Perairan

Lingkungan merupakan tempat tinggal bagi seluruh makhluk hidup. Setiap makhluk hidup akan berinteraksi dengan lingkungan. Proses interaksi terjadi dalam ekosistem. Ekosistem merupakan suatu sistem ekologi yang terbentuk oleh hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungan (Effendi *et al.*, 2018). Lebih lanjut Odum (1971) menyatakan ekosistem merupakan bagian yang mencakup organisme (komunitas) pada lingkungan tertentu yang saling berinteraksi antara lingkungannya sehingga terjadi aliran energi di dalamnya. Secara umum, ekosistem tersusun oleh komponen biotik dan komponen abiotik perairan. Ekosistem dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu: ekosistem terestrial, ekosistem akuatik dan ekosistem buatan manusia.

Ekosistem perairan merupakan ilmu yang mempelajari tentang sistem ekologi yang terjadi di perairan. Ekosistem perairan dapat dibagi berdasarkan struktur, sifat, fungsi dan tingkat organisasi. Struktur dan sifat dalam ekosistem perairan berhubungan dengan keanekaragaman spesies perairan. Struktur ekosistem perairan yang kompleks memiliki keanekaragaman spesies yang tinggi, sedangkan sifat dan tingkat organisasi dalam ekosistem berhubungan dengan siklus perpindahan energi melalui komponen-komponen ekosistem (Tansley, 1935). Secara umum, komponen ekosistem terbagi kedalam 3 kategori, yakni: (1) Tingkatan sistem ekologi; (2) Proses interaksi; dan (3) Transformasi energi.

Organisme perairan akan saling berinteraksi baik antara organisme dengan organisme (biotik dengan biotik) maupun organisme dengan lingkungannya (biotik dengan abiotik). Interaksi organisme dengan organisme dapat terlihat pada proses makan dan dimakan serta proses perkembangbiakan, sedangkan interaksi antara organisme dengan lingkungan bisa berlangsung berdasarkan tingkatan-tingkatan berdasarkan sistem ekologi. Tingkatan sistem ekologi antara lain:

1. Individu merupakan organisme perairan baik hewan maupun tumbuhan yang berkembangbiak secara terpisah dari individu-individu lainnya. Contohnya: Ikan Mas (*Cyprinus carpio*) yang dibudidayakan dalam kolam
2. Populasi merupakan kelompok individu-individu yang termasuk kedalam satu spesies yang tumbuh dan berkembangbiak dalam lingkungan yang sama. Contohnya: sekumpulan Ikan *Chanos chanos* yang dibudidayakan di tambak
3. Komunitas merupakan kumpulan beberapa populasi dalam suatu lingkungan yang saling berinteraksi. Contohnya: Ikan *Chanos chanos* yang dibudidayakan bersama-sama dengan *Gracilaria verrucosa* pada satu tambak.
4. Ekosistem adalah kumpulan berbagai komunitas secara bersama-sama yang menempati lingkungan dan wilayah tertentu. Komunitas membentuk hubungan timbal balik antara organisme-organisme dalam komunitas dengan lingkungan. Contohnya: ekosistem laut yang terdapat komunitas berbagai ikan, terumbu karang, gelombang dan arus yang saling berinteraksi.

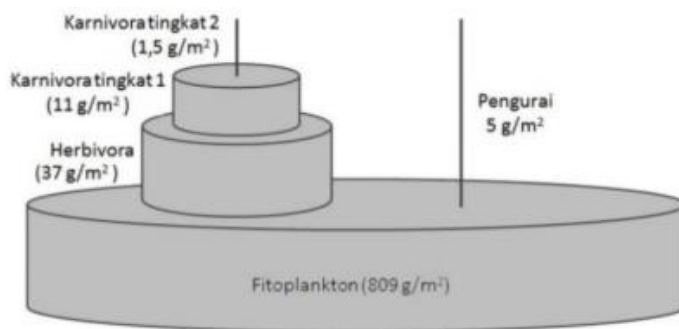
Proses interaksi atau pola hubungan timbal balik yang terjadi dalam ekosistem berhubungan dengan perpindahan energi. Transformasi energi dimulai dari sumber energi, produsen dan perpindahan energi dalam struktur trofik. Matahari merupakan sumber energi utama di Bumi, energi matahari sangat penting untuk kehidupan perairan, energi matahari dimanfaatkan dalam proses fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan-tumbuhan perairan yang merupakan kelompok autotrofik. Kelompok autotrofik merupakan kelompok yang dapat melakukan sintesis energi berupa bahan anorganik menjadi bahan organik melalui proses fotosintesis. Kelompok *autotroph* yang paling banyak ditemukan di perairan adalah fitoplankton. Fitoplankton memanfaatkan energi matahari untuk tumbuh dan berkembang. Kelompok autotrofik dan fitoplankton merupakan jaring-jaring makanan tingkat rendah atau merupakan trofik paling rendah dan biasa disebut dengan produsen. Produsen menyediakan energi untuk trofik tingkat atas dalam bentuk senyawa-senyawa organik

Tingkatan trofik (Gambar. 2) merupakan alur proses perpindahan energi. Energi yang bersumber dari kelompok autotroph dapat sampai pada tingkat *heterotroph*. Kelompok heterotroph mendapatkan energi untuk pertumbuhan melalui proses perpindahan energi. Perpindahan energi melewati serangkaian proses yang terbentuk dalam struktur trofik. Energi tidak dapat dimusnahkan dan diciptakan, tetapi energi dapat dirubah dari bentuk satu ke bentuk yang lain meskipun dalam proses perubahan terjadi proses transformasi energi kedalam bentuk yang lain dan terjadinya degradasi energi. Proses transformasi energi dilakukan berdasarkan urutan dan tingkat perpindahan energi dari kelompok *autotroph* sampai dengan *heterotroph*. Perpindahan energi terbagi kedalam beberapa kelompok tingkatan antara lain:

1. Kelompok *autotroph*, merupakan organisme yang mampu mensintesis bahan organik yang berasal dari bahan anorganik dengan bantuan energi cahaya matahari

dan kimia perairan. Kelompok ini disebut dengan kelompok produsen. Contohnya fitoplankton.

2. Kelompok *heterotroph*, berbeda dengan organisme *autotroph*, *heterotroph* tidak bisa mensintesis bahan organik menjadi bahan anorganik, tetapi dapat menyusun dan menguraikan bahan organik yang disusun oleh kelompok *autotroph*. Kelompok ini termasuk organisme herbivora dan karnivora. Contohnya ikan.
3. Kelompok pengurai adalah organisme atau bakteri dekomposer yang mampu memecah molekul-molekul organik dari jasad mahluk hidup menjadi molekul yang lebih sederhana sehingga dapat dimanfaatkan oleh kelompok *heterotroph*.



Sumber: Kurniawan, (2020)

Gambar 5. Struktur trofik

B. Klasifikasi Ekosistem Perairan

Ekosistem perairan merupakan tempat interaksi yang kompleks antara berbagai kehidupan biotik dan abiotik. Proses interaksi dipengaruhi oleh karakteristik ekosistem perairan. Perairan memiliki ciri khas dan karakteristik tersendiri sehingga membutuhkan adaptasi mutlak untuk dilakukan. Secara umum, ekosistem perairan dapat diklasifikasikan ke dalam empat kelompok, yakni: perairan lentik (sungai), perairan lotik (danau), perairan intertidal dan perairan laut.

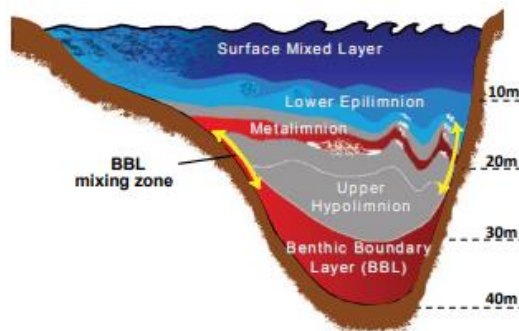
1. Perairan Lentik

Perairan lentik merupakan perairan tenang dan tergenang yang terbentuk secara alami sepanjang tahun dengan kedalaman yang bervariasi. Perairan lentik yang umum ditemui adalah perairan danau. Kedalaman perairan danau membentuk stratifikasi kolom perairan akibat perbedaan intensitas cahaya ke dalam perairan yang mempengaruhi suhu dan nutrisi yang terdapat pada kolom perairan. Stratifikasi kolom perairan (Gambar. 6) dapat dibagi ke dalam tiga kolom, yakni:

- a. Epilimnion merupakan lapisan bagian atas perairan. Lapisan epilimnion memiliki karakteristik berupa lapisan yang hangat, suhu perairan relatif konstan atau terjadi perubahan suhu secara vertikal sangat kecil dan massa air tercampur dengan baik karena pengaruh angin dan gelombang.
- b. Metalimnion merupakan lapisan yang berada di antara lapisan epilimnion dan hipolimnion. Lapisan metalimnion terjadi perubahan suhu relatif besar (*termoklin*). Penambahan kedalaman satu meter terjadi penurunan suhu air sekitar 1°C.
- c. Hipolimnion merupakan lapisan paling bawah. Lapisan hipolimnion memiliki karakteristik lebih dingin dibandingkan dengan dua lapisan sebelumnya, hal ini disebabkan oleh pengaruh intensitas cahaya matahari ke dalam perairan yang berdampak pada perbedaan suhu secara vertikal relatif kecil, sifat massa air stabil, tidak mengalami pencampuran (*mixing*) dan memiliki kekentalan air (densitas) yang lebih besar. Perbedaan suhu air permukaan dengan bagian dasar berkisar 2-31°C.

Perairan lentik banyak dimanfaatkan untuk kegiatan budidaya perikanan seperti keramba jaring apung di danau. Danau merupakan salah satu ekosistem perairan tawar atau perairan darat yang memiliki potensi besar untuk kegiatan perikanan. Potensi besar harus dapat dikelola dengan baik untuk dapat terus berkelanjutan terutama meminimalisir dampak lingkungan yang dapat merusak ekosistem perairan. Berdasarkan proses terjadinya, danau dapat dibedakan menjadi dua (Odum, 1993), yaitu:

- a. Danau alami, merupakan danau yang terbentuk akibat proses-proses alami sehingga membentuk cekungan berupa danau. Proses alamiah terjadi secara vulkanik dan tektonik.
- b. Danau buatan, merupakan danau yang terbentuk dengan sengaja oleh aktivitas-aktivitas manusia dengan tujuan tertentu seperti membendung sungai pada daerah dataran rendah tertentu.



Sumber: Eckert dan Nishri, (2014)

Gambar 6. Stratifikasi Kolom Perairan

Selain berdasarkan proses terjadinya, danau dapat dikelompokkan berdasarkan materi organik atau tipe danau (Gambar. 7) yang terdapat dalam ekosistem perairan. Latuconsina (2019) membagi tiga tipe danau berdasarkan materi organik, yaitu:

- a. Danau oligotrofik merupakan danau yang dalam dengan tingkat kejernihan air dapat mencapai 8 meter dan minim zat hara, jarang ditemukan tumbuhan litoral dan jumlah spesies plankton tinggi dengan kepadatan plankton rendah.
- b. Danau mesotrofik merupakan danau dengan tingkat kejernihan yang cukup (berkisar 4-8 meter), kandungan zat hara sedang, danau peralihan antara danau oligotrofik dan eutrofik.
- c. Danau eutrofik merupakan danau dangkal yang kaya zat hara, banyak tumbuhan litoral, ledakan alga (*blooming alga*), penetrasi cahaya rendah akibat kekeruhan tinggi disebabkan oleh partikel-partikel tersuspensi.

2. Perairan Lotik

Perairan lotik merupakan perairan yang mengalir. Sungai dan parit merupakan contoh perairan yang berbeda dengan perairan lentik. Perairan lotik berbeda dengan perairan lentik. Perairan lotik ditandai dengan pergerakan arus yang searah dan relatif kencang dengan kecepatan berkisar 0,1 – 1,0 m/s serta dipengaruhi oleh iklim, waktu dan drainase. Secara umum, perairan lotik dipengaruhi oleh arus. Arus perairan berhubungan dengan bentang alam, topografi, curah hujan dan musim (sistem munson). Perairan lotik dapat dibedakan berdasarkan kecepatan arus dan topografi.

a. Kecepatan arus

Arus merupakan faktor utama dalam ekosistem perairan lotik. Arus mempengaruhi tingkat kesuburan dan bahan organik perairan. Distribusi bahan organik di perairan sangat dipengaruhi oleh kecepatan arus dan massa air dari perairan tersebut sehingga mempengaruhi kesuburan perairan. Perairan lotik berdasarkan kecepatan arus dapat dikelompokkan menjadi 2, yakni: (i) zona riam, terjadi pada perairan dangkal dan arus kuat sehingga tidak ditemukan endapan pada dasar perairan; (ii) zona lubuk, ditunjukkan dengan kecepatan arus yang lambat dan perairan yang dalam, kecepatan arus yang lambat menimbulkan kecenderungan adanya endapan sedimen pada dasar perairan.

b. Topografi

Topografi perairan berkaitan dengan longitudinal permukaan bumi. Berdasarkan longitudinal, perairan lotik dapat dikelompokkan menjadi 3, yakni: (i) hulu, yang merupakan letaknya pada dataran atau topografi tinggi. Topografi tinggi memiliki karakteristik curam, dangkal, berbatu volume air rendah, jernih dan suhu air rendah; (ii) bagian tengah berada di dataran tinggi dan rendah, kecepatan arus sedang, volume air meningkat, terjadi proses pengendapan dan pengikisan; (iii) hilir,

berada pada dataran rendah, pergerakan arus yang lambat, volume air melimpah, warna air sudah bercampur lumpur dan sedimen.

3. Perairan Intertidal Estuari

Perairan estuari merupakan perairan yang masih dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Daerah yang berada pada pasang tertinggi dan surut terendah merupakan daerah intertidal. Daerah intertidal umumnya merupakan daerah pertemuan antara massa air tawar dari sungai dan air laut. Pertemuan massa air terjadi pada daerah muara. Daerah muara memiliki karakteristik dan kehidupan biologis yang sangat khas, kompleks dan dinamis. Dinamika estuari berhubungan dengan pola salinitas, beban sedimen dari daratan, vegetasi pesisir, perubahan muka air laut, suhu, masukkan air tawar dan berbagai macam unsur hara. Dinamika perairan yang khas membutuhkan kemampuan organisme perairan untuk beradaptasi dengan lingkungan tersebut. Lingkungan estuari dipengaruhi oleh beberapa faktor, yakni:

- a. Salinitas, estuari memiliki gradien salinitas yang bervariasi, terutama bergantung pada masukan air tawar dari sungai dan air laut melalui proses pasang surut. Nilai salinitas daerah estuari cukup fluktuatif. Salinitas estuari dapat dibagi menjadi tiga, yaitu: oligohaline (0,5 – ppt), mesohaline (3-17 ppt) dan polihaline (17 – 30 ppt).
- b. Substrat, sebagian besar estuari didominasi oleh substrat berlumpur yang berasal dari sedimen yang dibawa melalui air tawar (sungai) dan berpasir yang dibawa melalui air laut. Partikel lumpur estuari merupakan bahan organik, bahan organik ini menjadi cadangan makanan yang penting bagi organisme estuari.
- c. Suhu air di daerah estuari lebih bervariasi dibandingkan dengan suhu air laut. Variasi suhu disebabkan oleh: (i) volume air dari estuari lebih kecil, sedangkan luas permukaannya lebih besar, oleh karena itu air lebih cepat mengalami perubahan suhu; (ii) air sungai lebih dipengaruhi suhu musiman daripada air laut, hal ini menyebabkan terjadinya variasi suhu air secara horizontal dan vertikal.
- d. Sirkulasi air dan pasang surut, arus pasang surut berperan penting sebagai pengangkut zat hara dan plankton. Arus perairan berperan untuk mengencerkan dan menggelontorkan limbah yang sampai di estuaria
- e. Penyimpanan zat hara, estuari merupakan daerah yang dapat mengakumulasi zat hara yang berasal dari sungai dan laut.

Estuari memiliki karakteristik berbeda-beda, hal tersebut tergantung pada kondisi fisik daerah estuari. Secara umum, estuari dapat dikelompokkan menjadi dua tipe, yakni: berdasarkan geomorfologis dan hidrografis.

a. Berdasarkan Geomorfologis

Estuari tipe geomorfologis, merupakan perairan estuari yang terbentuk secara proses alami dalam tahap pembentukan estuari tersebut. Berdasarkan

geomorfologis, perairan estuari dapat dikelompokkan ke dalam perairan estuari dataran pesisir, estuari bentukan penghalang, fjords, dan estuari tektonik.

- Estuari dataran pesisir merupakan estuari yang paling umum dijumpai, dimana proses pembentukannya terjadi akibat kenaikan permukaan air laut yang menggenangi sungai pada bagian pantai yang landai
- Estuari bentukan penghalang, terbagi menjadi dua, yakni: (i) laguna (gobah) atau teluk semi tertutup yang terbentuk oleh adanya pasir, sehingga menghalangi interaksi langsung dan terbuka dengan laut; (ii) delta, terbentuk oleh endapan sedimen yang berasal dari lahan atas di muat sungai.
- Fjords merupakan estuari yang dalam, terbentuk oleh aktivitas glasier yang mengakibatkan tergenangnya lembah es oleh air laut.
- Estuari tektonik merupakan estuari yang terbentuk akibat aktivitas tektonik seperti gempa bumi dan letusan gunung berapi yang mengakibatkan turunnya permukaan tanah dan kemudian digenangi oleh air laut.

b. Berdasarkan hidrografis

Estuari tipe hidrografis merupakan estuari yang menggambarkan permukaan bumi berdasarkan ketertutupan air di daerah intertidal. Estuari hidrografis terdiri dari estuari berstratifikasi tinggi, estuari berstratifikasi parsial, estuari sempurna atau homogen vertikal dan estuari *hipersaline*.

- Estuari berstratifikasi tinggi dicirikan oleh adanya batas yang jelas antara air tawar dan laut. Terdapat dua lapis air yang dibatasi oleh *halocline* atau zona dengan perubahan salinitas secara tajam dari atas sampai ke bawah.
- Estuari berstratifikasi parsial, paling umum dijumpai pada daerah pesisir, ditandai dengan jumlah air tawar yang masuk sama dengan jumlah pasang surut, sehingga menyebabkan terjadinya turbulensi.
- Estuari sempurna atau homogen vertikal lebih didominasi oleh air laut dengan salinitas tinggi yang dibawa oleh pasang surut dibandingkan dengan kuantitas air tawar, hal ini menyebabkan terjadinya pencampuran air dengan baik dari atas sampai dengan kolom perairan.
- Estuari *hipersaline* ditandai dengan masuknya air tawar yang relatif kecil, perbedaan pasang surut yang signifikan, penguapan dan evaporasi yang sangat tinggi dan bersalinitas sama bahkan lebih tinggi dibandingkan dengan air laut bila berada pada teluk tertutup.

4. Perairan Laut

Permukaan bumi sebagian besar (71%) ditutupi oleh air, yang mana bagian terbesar dari air yang menutupi permukaan bumi berasal dari air laut. Laut merupakan

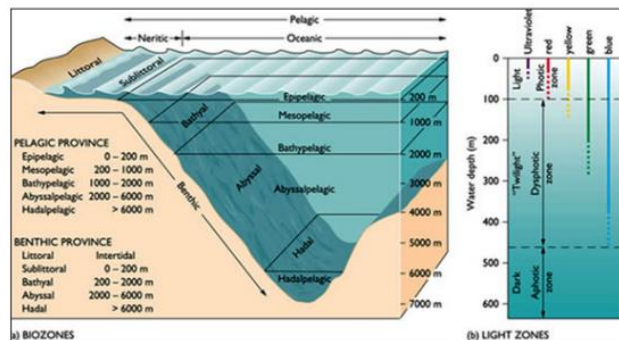
ekosistem perairan terbesar dimana terdapat ekosistem mangrove, ekosistem lamun, ekosistem terumbu karang dan ekosistem yang mendukung kegiatan budidaya. Ekosistem laut memiliki ciri-ciri, yakni:

- Kadar salinitas (kadar garam) yang cukup tinggi lebih dari 50% terutama di daerah tropis yang memiliki intensitas penyinaran sinar matahari yang cukup tinggi.
- Terdapat perbedaan suhu pada bagian atas dan bawah perairan, hal ini disebabkan oleh lapisan termoklin
- Tidak dipengaruhi oleh iklim dan cuaca
- Kompleksitas yang tinggi baik organisme maupun proses-proses hidrooseanografi yang terjadi
- Organisme yang hidup pada lingkungan perairan didominasi oleh kelompok nekton
- Terjadi proses-proses hidrooseanografi seperti arus, gelombang, pasang surut dan angin

Kehidupan dalam ekosistem perairan laut dipengaruhi oleh ketersediaan cahaya matahari yang sangat dibutuhkan oleh organisme perairan dan lingkungan perairan. Cahaya matahari memiliki batas toleransi untuk menembus kedalaman perairan. Kemampuan penetrasi cahaya matahari membagi lingkungan perairan laut menjadi dua, yakni: fotik dan afotik. Lingkungan perairan memiliki karakteristik masing-masing sesuai dengan zonasi. Zonasi ekosistem perairan laut (Gambar. 7) berdasarkan karakteristiknya dapat dikelompokkan ke dalam empat kelompok zona, yakni:

- a. Zona litoral merupakan wilayah intertidal yang masih dipengaruhi oleh pasang surut air laut, pada saat pasang akan tertutup oleh air dan pada saat surut akan kering. Zona ini merupakan zona yang berbatasan langsung dengan daratan. Letak yang berbatasan langsung dengan daratan menyebabkan zona tersebut sangat dipengaruhi oleh variasi suhu perairan karena radiasi matahari dan perubahan salinitas yang dipengaruhi oleh masuknya air tawar dari aliran sungai dan proses evaporasi. Zona litoral merupakan tempat hidup dari ganggang laut dan berbagai jenis organisme bentos.
- b. Zona neritik merupakan zona yang masih dipengaruhi oleh pasang surut dengan kedalaman perairan 50 – 200 meter. Zona neritik biasa disebut dengan laut dangkal dengan konsentrasi biota perairan yang cukup banyak seperti plankton, bentos dan nekton.
- c. Zona batial merupakan wilayah laut yang berbentuk lereng atau dapat disebut dengan lereng benua di dasar perairan dengan kedalaman berkisar 200 – 2000 meter. Zona ini merupakan zona yang tidak dapat memproduksi makanan, melainkan hanya didiami oleh organisme nekton.

- d. Zona abisal merupakan wilayah laut dalam yang berada pada dasar perairan atau samudera dengan kedalaman lebih dari 2000. Zona abisal merupakan zona yang minim oksigen sehingga organisme yang hidup pada zona tersebut sangat terbatas.



Sumber: Mitra *et al.*, (2018)
Gambar 7. Zonasi Ekosistem Perairan Laut

C. Pola Interaksi Ekosistem Perairan

Pola interaksi dalam ekosistem perairan melibatkan komponen biotik dan abiotik yang terjadi pada lingkungan ekologi dan ekosistem perairan berkaitan dengan makanan, air, tempat berlindung dan ruang atau habitat makhluk hidup. Pola interaksi berlangsung pada relung ekosistem perairan. Relung ekosistem perairan merupakan tempat hidup dalam suatu habitat yang menyangkut seluruh aspek biologi organisme perairan yang terjadi dalam ekosistem perairan. Jenis-jenis interaksi antar komponen terdiri dari: interaksi biotik dengan abiotik, interaksi antara komponen biotik dan interaksi antara komponen biotik.

1. Interaksi biotik dengan abiotik merupakan interaksi yang sering terjadi di dalam ekosistem perairan antara makhluk hidup dengan lingkungan. Pola interaksi yang terjadi harus tetap memperhatikan kondisi lingkungan perairan, Contoh: interaksi ikan dengan lingkungan perairan laut
2. Interaksi antara komponen biotik merupakan interaksi antara sesama makhluk hidup. Pola interaksi yang terbentuk antara lain:
 - a. Interaksi antara organisme merupakan interaksi dalam bentuk simbiosis. Interaksi simbiosis mengakibatkan ada organisme yang diuntungkan dan ada yang dirugikan serta tidak mengakibatkan dampak. Simbiosis yang terjadi pada ekosistem perairan terdiri dari: (i) netralisme, (ii) mutualisme, (iii) protokoperasi, (iv) komensalisme, (v) parasitisme, (vi) predasi, dan (vii) herboivora.
 - b. Interaksi antara populasi terdiri dari 2 bentuk interaksi, antara lain: kompetisi dan amensalisme

- Kompetisi merupakan interaksi terkait persaingan makanan dan area, kompetisi bisa terjadi pada spesies yang sama (*intraspesifik*) dan spesies yang berbeda (*interspesifik*).
 - Amensalisme merupakan interaksi biologis, yang satu akan diuntungkan atau netral, sedangkan yang lain netral atau tidak dirugikan
- c. Interaksi antara komunitas merupakan interaksi antara beberapa populasi yang terkait pada suatu wilayah. Contoh: interaksi komunitas plankton dan komunitas ikan.
3. Interaksi antara komponen abiotik merupakan interaksi yang terjadi pada lingkungan ekosistem perairan, perubahan faktor lingkungan tertentu dapat mempengaruhi perubahan faktor lingkungan yang lain. Contoh: Kenaikan suhu air perairan mempengaruhi nilai salinitas perairan.

D. Organisme Perairan

Organisme perairan merupakan komponen biotik dalam ekosistem perairan. Komponen biotik merupakan komponen utama dalam proses hubungan timbal balik. Komponen biotik dalam perairan meliputi organisme perairan. Organisme perairan memerlukan adaptasi untuk pertumbuhan. Bentuk adaptasi organisme perairan dalam suatu ekosistem dapat dilihat dari bagaimana cara organisme perairan hidup. Organisme perairan dapat dikelompokkan menurut cara hidupnya sebagai berikut: plankton, nekton, neuston, bentos dan perifiton.

1. Plankton

Plankton adalah organisme perairan yang hidup di kolom perairan, hidup melayang, mengapung, mengambang dan bergerak berdasarkan pergerakan arus dan gelombang. Organisme plankton merupakan komponen utama dalam rantai makanan yang memiliki jumlah dan jenis sangat banyak serta beranekaragam. Plankton menjadi salah satu indikator perubahan kualitas perairan dalam ekosistem perairan, perubahan kualitas suatu perairan erat kaitannya dengan potensi perairan yang dapat dicirikan dengan perubahan komunitas plankton. Disamping itu, perubahan kualitas perairan umumnya disebabkan oleh masuknya bahan-bahan polutan di dalam perairan seperti limbah rumah tangga, pertanian dan pertambangan. Masuknya berbagai macam limbah antropogenik ke dalam ekosistem perairan dapat memberikan dampak toksik pada ekosistem dan organisme perairan serta karakteristik biologi perairan.

Karakteristik biologi plankton di perairan berkaitan dengan strategi plankton untuk mengapung dalam berbagai dimensi ruang kehidupan plankton. Plankton dapat mengapung dipengaruhi oleh dua faktor, yakni: berat jenis dan prinsip gravitasi. Menurut Nybakken (1988), terdapat tiga mekanisme yang dilakukan plankton untuk mengapung dan

mempertahankan diri tetap melayang dalam kolom air, antara lain: (i) mengubah komposisi cairan-cairan tubuh agar memiliki nilai densitas yang rendah dibandingkan dengan air laut; (ii) membentuk pelampung berisi gas, sehingga nilai densitas menjadi lebih rendah dari densitas air; dan (iii) memproduksi cairan yang memiliki nilai densitas lebih rendah dari air laut seperti minyak dan lemak.

Prinsip gravitasi, semakin besar luas permukaan suatu benda akan semakin besar pula tahanan gesekannya terhadap air, makin besar tahanan gesekan terhadap air maka makin besar juga tahanannya untuk tenggelam. Perubahan luas permukaan plankton dilakukan dengan cara membentuk tonjolan atau duri pada permukaan tubuhnya (Nybakken, 1988; Kurniawan, 2018). Secara umum, faktor mengapung berdasarkan dimensi ruang kehidupan plankton dapat dibagi menjadi tiga, yakni: zona eufotik (cahaya tinggi), zona disfotik (cahaya sedang) dan zona afotik (minim cahaya). Plankton yang terdapat dalam ekosistem perairan dapat dikelompokkan berdasarkan fungsi, ukuran, daur hidup, sebaran dan pigmen warna.

a. Berdasarkan fungsi, plankton memiliki fungsi sebagai produsen primer, konsumen, dekomposer dan berperan penting dalam daur karbon. Menurut Nontji (2008), plankton berdasarkan fungsi terdiri dari: fitoplankton, zooplankton, bakterioplankton dan virioplankton.

- Fitoplankton merupakan plankton nabati yang memiliki ukuran yang kecil (2–200 μm). Fitoplankton bersifat autotrofik yang merubah bahan anorganik menjadi bahan organik. Kemampuan memproduksi bahan organik merupakan fungsi utama fitoplankton sebagai produsen primer.
- Zooplankton merupakan plankton hewani yang berasal dari sisa hewan yang bersifat heterotrofik serta memiliki ukuran berkisar 0,2–2 mm. Zooplankton bersifat heterotrofik yang sangat bergantung pada bahan organik dari fitoplankton sebagai sumber energi. Zooplankton berfungsi sebagai konsumen bahan organik.
- Bakterioplankton merupakan bakteri yang berperan sebagai plankton. Bakterioplankton memiliki peran penting dalam daur hara ekosistem. Bakterioplankton memiliki fungsi utama sebagai pengurai atau dekomposer.
- Virioplankton merupakan virus yang hidup sebagai plankton berukuran 0,2 μm . Virus dapat hidup pada inang dan mematikan serta memecahkan sel-sel inang. Viroplankton memiliki fungsi penting dalam daur karbon di dalam ekosistem

b. Berdasarkan ukuran, plankton memiliki beragam ukuran. Menurut Barus (2020), plankton berdasarkan ukuran terdiri dari: megaplankton (berukuran $>20 \mu\text{m}$), makroplankton (berukuran 2-20 μm), mesoplankton (berukuran 0,2–20 μm),

mikroplankton (berukuran 20–200 μm), nanoplankton (berukuran 2–20 μm) dan picoplankton (berukuran 0,2–2 μm)

- c. Berdasarkan daur hidup, plankton berdasarkan daur hidup terdiri dari: holoplankton, meroplankton dan tikoplankton
- Holoplankton merupakan organisme planktonik yang selama atau seluruh daur hidupnya. Haloplankton tersusun dari fitoplankton dan zooplankton yang memiliki ukuran bervariasi
 - Meroplankton merupakan organisme plankton yang hanya pada masa awal kehidupannya saja, sedangkan fase berikutnya tumbuh dan besar sebagai biota kelompok nekton dan bentos
 - Tikoplankton bukan merupakan plankton sejati karena dalam kondisi normal hidup di dasar laut sebagai bentos
- d. Berdasarkan sebaran, plankton berdasarkan sebaran terdiri dari: horizontal dan vertikal
- Sebaran plankton secara horizontal terbagi menjadi 2 kategori yakni: (i) plankton neritik, hidup diperairan pantai dengan garam yang relatif rendah dan ditemukan di perairan payau di sekitar muara, serta (ii) plankton oseanik, hidup di perairan lepas pantai hingga tengah samudera sehingga banyak ditemukan di perairan yang kadar garam tinggi.
 - Sebaran plankton secara vertikal terbagi menjadi 3 kategori, yakni: (i) Epiplankton, organisme yang hidup berada di lapisan permukaan hingga kedalaman sekitar 100 meter sampai batas akhir tembusnya sinar matahari ke dalam laut, (ii) Mesoplankton, plankton yang wilayah hidupnya berada di lapisan tengah sekitar kedalaman 100 – 400 meter, dan (iii) Hipoplankton, hidup pada kedalaman lebih dari 400 meter
- e. Berdasarkan pigmen warna, plankton berdasarkan pigmen warna terdiri dari: cholorophyceae, cyanophyceae, dynophyceae dan Bacillariophyceae.
- Cholorophyceae, merupakan plankton yang memiliki pigmen warna hijau dan spesies terbesar berada di perairan tawar
 - Cyanophyceae merupakan plankton yang memiliki warna hijau sampai biru karena mengandung pigmen klorofil, karoten dan xantofil. Cyanophyceae memiliki sel tunggal yang sederhana membentuk koloni dengan klorofil.
 - Dynophyceae lebih dikenal dengan sebutan dinoflagelata. Dinoflagelatan merupakan produktivitas primer kedua setelah diatom.
 - Bacillariophyceae atau diatom merupakan produktivitas primer utama di perairan dan mendominasi perairan.

Plankton menjadi salah satu indikator perubahan atau pencemaran ekosistem perairan. Komposisi plankton yang terdapat dalam ekosistem perairan dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat pencemaran perairan tersebut. Tingkat pencemaran perairan dapat dibagi menjadi tiga, yaitu: (i) tercemar ringan, didominasi oleh plankton *Spirulina jenniferi*, (ii) tercemar sedang didominasi oleh plankton *Diastrum botryanum*, dan (iii) tercemar berat yang didominasi oleh plankton seperti: *Nitzschia palea*, *Oscillatoria jarmoso* dan *Ulothrix zonata*. Perubahan atau pencemaran suatu perairan erat kaitannya dengan potensi perairan yang dapat dicirikan dengan perubahan komunitas plankton.

Perubahan komunitas plankton menjadi faktor pembatas dalam menopang kehidupan organisme perairan, hal tersebut dikarenakan plankton merupakan indikator laju produktivitas primer. Produktivitas primer dari plankton terutama fitoplankton yang merupakan salah satu sumber energi dan bahan organik yang dimanfaatkan oleh organisme pada tingkat trofik yang lebih tinggi (Yuliana, 2006). Secara umum, Plankton yang terdapat di perairan dapat dikelompokkan berdasarkan nutrisi pokok, lingkungan hidup, keberadaan sinar matahari, dan asal usul plankton.

a. Nutrien Pokok

Plankton dapat dikelompokkan berdasarkan kandungan nutrisi pokok. Kandungan nutrisi pokok plankton dibagi ke dalam 3 kelompok, yakni: fitoplankton, saproplankton, dan zooplankton.

- Fitoplankton adalah plankton nabati, lebih dari 90% termasuk kelompok alga. Fitoplankton adalah tumbuhan yang mengandung klorofil yang dapat mensintesa nutrisi yang berasal dari sinar matahari
- Saproplankton adalah plankton yang sebagian besar kelompok bakteri dan jamur yang tidak mempunyai pigmen fotosintesis. Saproplankton mendapatkan energi dari sisa-sisa detritus atau organisme lain yang telah mati.
- Zooplankton merupakan plankton hewani yang tidak dapat memproduksi makanan sendiri dan menjadi konsumen tingkat I di perairan.

b. Lingkungan hidup

Plankton dapat hidup pada berbagai lingkungan. Lingkungan hidup plankton dapat dikelompokkan ke dalam 4 kelompok, yakni: limnoplankton, haliplankton, hipalmyroplankton, dan plankton.

- Limnoplankton, adalah plankton yang hidup pada ekosistem perairan tawar
- Haliplankton, adalah plankton yang hidup pada ekosistem perairan laut
- Hipalmyroplankton, adalah plankton yang hidup pada ekosistem perairan payau
- Plankton, yaitu plankton yang hidup di kolam atau genangan air

c. Sinar matahari

Plankton dapat hidup berdasarkan ketersediaan sinar matahari sebagai sumber energi utama dalam proses fotosintesis. Berdasarkan sinar matahari, plankton dapat dikelompokkan menjadi 3, yakni:

- Hipoplankton, adalah plankton yang hidup pada zona fotik dengan kedalaman kurang dari 200 meter sehingga masih dapat ditembus oleh cahaya matahari
- Epiplankton adalah plankton yang hidup di zona *twilight* dengan kedalaman berkisar 200-2000 meter sehingga cahaya yang masuk kedalam perairan hanya sedikit
- Bathiplankton adalah plankton yang hidupnya di dasar perairan yang tanpa sinar matahari dan berada pada kedalaman lebih dari 2000 meter

d. Asal usul plankton

Plankton yang terdapat pada suatu perairan tidak hanya berdasarkan dari perairan tersebut, melainkan berasal dari luar perairan tersebut yang masuk melalui berbagai proses. Plankton dapat masuk melalui proses homogen akibat pencampuran air, pengadungan yang disebabkan oleh arus dan gelombang. Berdasarkan asal usulnya plankton dapat dikelompokkan menjadi 2, yakni: autogenik dan alogenik.

- Autogenik plankton merupakan plankton yang berasal dari perairan itu sendiri
- Alogenik plankton merupakan plankton yang berasal dari perairan lain

Plankton yang terdapat di perairan dapat dikelompokkan menjadi dua, yakni: fitoplankton dan zooplankton.

a. Fitoplankton

Fitoplankton merupakan organisme *autotroph* mikroskopis yang dapat memproduksi sumber energi sendiri melalui proses fotosintesis dengan bantuan energi matahari. Fitoplankton dapat mensintesa nutrisi anorganik menjadi organik. Fitoplankton merupakan organisme perairan yang berdampak apabila terjadinya pencemaran perairan, hal ini ditandai dengan terjadinya kelimpahan, komposisi dan komunitas fitoplankton. Berdasarkan hal tersebut, fitoplankton dapat menjadi indikator utama dari tingkat pencemaran perairan, selain itu sifat hidup fitoplankton relatif tidak berpindah dan panjang serta mempunyai toleransi yang tinggi terhadap perubahan lingkungan. Keberadaan plankton di lingkungan perairan dipengaruhi oleh curah hujan dan arus, Curah hujan menyebabkan viskositas dan salinitas perairan menurun meningkatkan masukkan unsur hara yang berasal *run off* sungai.

Fitoplankton yang terdapat di perairan mempengaruhi struktur trofik yang terdapat di dalam ekosistem perairan. Fitoplankton merupakan struktur trofik tingkat rendah yang memiliki peran sebagai penyedia makanan dan sumber energi bagi organisme tingkat atas. Terdapat hubungan yang erat antara komposisi jenis plankton di perairan dengan jenis

makanan yang ditemukan dalam saluran pencernaan ikan (Hamid *et al.*, 2018). Komposisi jenis plankton mempengaruhi perubahan kualitas perairan.

b. Zooplankton

Zooplankton merupakan plankton hewani yang bergantung pada keberadaan mikroorganisme lain untuk mendapatkan pasokan energi. Zooplankton berukuran mikroskopis seperti fitoplankton tetapi tidak bisa memproduksi energi seperti fitoplankton, melainkan energi dipindahkan. Proses perpindahan energi oleh zooplankton dilakukan melalui proses jaring-jaring makanan. Zooplankton mendapatkan sumber energi dari detritus dan fitoplankton, dengan kata lain zooplankton merupakan konsumen tingkat I. Zooplankton sama dengan fitoplankton, hidup menetap pada kolom perairan dan mempunyai masa hidup yang relatif lama serta memiliki batas toleransi yang tinggi terhadap lingkungan. Sifat hidup zooplankton yang demikian menyebabkan plankton dapat dijadikan indikator pencemaran perairan.

Perubahan kualitas perairan umumnya disebabkan oleh masuknya bahan-bahan polutan di dalam perairan seperti logam berat. Jumlah logam berat yang berlebihan di dalam perairan dapat menyebabkan toksik, indikator logam berat dapat dilihat pada akumulasi logam berat pada plankton. Kandungan bahan organik yang tinggi dalam perairan menyebabkan perairan menjadi subur / eutrofikasi yang dapat menimbulkan dampak terhadap kelimpahan plankton dan alga. Perairan yang subur sesuai untuk pertumbuhan tumbuhan air dan dapat menutupi seluruh permukaan perairan. Eutrofikasi dapat disebabkan oleh erosi tanah, pemupukan, buangan limbah industri, sisa-sisa pakan feses serta limbah rumah tangga. Eutrofikasi perairan dapat menyebabkan rusaknya habitat ikan, menurunkan tingkat konsentrasi oksigen dan terjadinya *blooming alga*.

Plankton yang terdapat di dalam ekosistem perairan dapat ditinjau berdasarkan perubahan warna air. Warna air merupakan indikator perairan yang mudah teramati secara visual. Masuknya zat-zat tertentu ke perairan dapat merubah warna air, hal ini menunjukkan adanya zat-zat tersuspensi terlarut dalam perairan. Selain itu, perubahan warna air juga disebabkan oleh proses alamiah yang berasal dari proses biologis maupun non biologis. Secara biologis, warna air berubah karena adanya jenis, komposisi dan komunitas plankton yang berbeda, karena plankton memiliki variasi jenis dengan pigmen warna yang berbeda-beda, sedangkan non biologis terjadi karena proses masuknya senyawa-senyawa kimia seperti Fe, Ni, Co, dan lain-lain. Perubahan warna air di perairan dapat menghambat proses penetrasi cahaya ke dalam perairan. Terhambatnya proses penetrasi cahaya menyebabkan keseimbangan ekosistem perairan menjadi terganggu. Matahari merupakan unsur utama dalam proses fotosintesis yang dilakukan oleh organisme perairan kelompok *autotroph* sebagai produsen utama dan sumber makanan bagi organisme lainnya.

Warna air berhubungan dengan tingkat kekeruhan perairan. Kekeruhan perairan dipengaruhi oleh keberadaan plankton, alga, mineral dan dekomposisi bahan organik yang

terkandung dalam perairan. Plankton memiliki pigmen warna yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi warna air. Perairan yang berwarna hijau muda dimungkinkan terdapat plankton atau alga seperti *Chlorella* sp. dan *Scenedesmus* sp, sebaliknya perairan yang berwarna hijau tua dimungkinkan terdapat plankton atau alga seperti *Chlorella* sp. dan *Spirulina* sp,

2. Nekton

Nekton berbeda dengan plankton, nekton merupakan organisme perairan yang aktif bergerak dan berenang bebas di kolom perairan, tidak bergantung pada pergerakan arus dan gelombang. Nekton merupakan unsur yang paling banyak dan mudah ditemui dalam ekosistem perairan. Ikan, cumi-cumi dan paus merupakan sebagian kecil dari kelompok nekton. Ikan merupakan kelompok nekton yang paling umum digunakan untuk menilai ekosistem perairan. Ikan dapat dijadikan sebagai indikator kualitas lingkungan dan ekosistem perairan. Hal ini karena ikan merupakan organisme perairan yang memiliki siklus hidup lebih kompleks dibandingkan dengan organisme perairan lainnya dan menempati peringkat teratas dalam struktur trofik.

Kehidupan organisme nekton pada lingkungan ekosistem perairan dipengaruhi oleh faktor-faktor yang dibutuhkan oleh makhluk hidup untuk hidup di suatu ekosistem, seperti: suhu, kecerahan, *power of Hydrogen* (pH), salinitas, *Dissolved Oxygen* (DO), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Biological Oxygen Demand* (BOD).

- Suhu

Suhu merupakan besaran yang menunjukkan derajat panas dingin suatu benda dan diukur menggunakan termometer. Suhu perairan Indonesia baik harian maupun tahunan, berkisar antara 27°C – 32°C. Suhu tinggi dapat mempercepat reaksi-reaksi kimia, kenaikan suhu 10°C dapat mempengaruhi proses kecepatan reaksi. Fluktuasi nilai suhu terjadi pada permukaan dan kedalaman. Suhu di permukaan dipengaruhi oleh penyinaran sinar matahari dan keadaan lingkungan disekitar perairan, sedangkan suhu di bagian dalam menjadi faktor penentu dan pengendali kehidupan tumbuhan dan hewan perairan. Keberagaman tumbuhan dan hewan yang terdapat di perairan dipengaruhi oleh suhu perairan.

Suhu perairan yang tinggi meningkatkan aktivitas biologi yang berakibat pada meningkatnya konsumsi oksigen di lama perairan. Nilai oksigen dan suhu memiliki korelatif negatif, suhu tinggi dapat menurunkan nilai solubilitas oksigen yang berakibat pada menurunnya kemampuan organisme perairan dalam memanfaatkan oksigen yang berada di perairan untuk berbagai macam proses biologi di perairan. Suhu sangat mempengaruhi faktor pembatas dalam ekosistem perairan, sedangkan nilai suhu sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, suhu udara, cuaca dan lokasi berdasarkan lintang.

Suhu perairan merupakan indikator fisika yang menunjukkan terjadinya perubahan lingkungan akibat berbagai hal, salah satu nya karena masuknya bahan pencemar ke dalam lingkungan perairan. Suhu perairan sangat berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, dan

perairan. Suhu perairan yang tinggi menyebabkan konsumsi oksigen oleh organisme perairan meningkat yang berakibat pada ketersediaan oksigen di perairan menjadi terbatas. Terbatasnya nilai oksigen mempengaruhi proses oksidasi di perairan terutama proses oksidasi oleh mikroorganisme untuk menguraikan sisa-sisa buangan bahan organik yang terdapat di perairan. Proses oksidasi yang terhambat menyebabkan penumpukan buangan limbah yang berdampak meningkatnya bahan beracun di perairan.

- **Kecerahan**

Kecerahan merupakan gambaran kedalaman air yang dapat ditembus oleh cahaya dan *visible* untuk mata pada umumnya. Semakin cerah perairan tersebut akan semakin dalam cahaya yang menembus ke dalam perairan. Kandungan partikel-partikel tersuspensi di dalam perairan akibat *run off* sungai dan aktivitas pasang surut mempengaruhi penetrasi cahaya. Berkas cahaya yang jatuh ke permukaan air tidak semua akan diteruskan ke dalam perairan, sebagian akan dipantulkan kembali ke atmosfer, jumlah cahaya yang dipantulkan tergantung pada sudut jatuh dari sinar kondisi perairan. Air yang bergerak menyebabkan pantulan sinar menyebar kesegala arah. Sinar yang melewati media air sebagian diabsorpsi dan sebagian dipencarkan (*scatter*).

Kecerahan perairan menunjukkan indikator biasan cahaya yang masuk ke dalam perairan. Biasan cahaya dipengaruhi oleh keberadaan partikel-partikel anorganik dan koloid yang tersuspensi dalam perairan. Perairan yang keruh menghambat laju proses fotosintesis perairan. Fotosintesis sangat dibutuhkan oleh organisme perairan seperti plankton tumbuh. Pertumbuhan plankton dalam suatu perairan berpengaruh dengan ketersediaan sumber energi. Plankton merupakan sumber energi utama atau produsen primer dalam perairan. Ketersediaan sumber energi sangat mempengaruhi keseimbangan ekosistem perairan, hal ini terkait dengan struktur trofik yang terdapat dalam perairan tersebut.

- **Bau dan Rasa**

Bau dan rasa disebabkan oleh kandungan bahan-bahan yang terlarut pada perairan. Bahan yang terdapat dalam perairan terdiri dari bahan organik dan anorganik. Selain disebabkan kandungan bahan-bahan terlarut, juga dipengaruhi oleh substrat dasar perairan. Bau dan rasa menunjukkan penumpukan bahan-bahan pencemar yang berbahaya. Bahan berbahaya yang tidak terurai dengan baik dalam perairan memberikan dampak toksik pada perairan. Bahan pencemar tersebut dapat terlarut dan koloid dalam perairan. Bahan pencemar terlarut susah untuk dipisahkan, sedangkan bahan pencemar yang bersifat koloid bersifat melayang-layang pada perairan dan sebagian mengendap ke dasar perairan. Bahan yang melayang perairan dapat disaring dengan menggunakan saringan yang halus dan yang mengendap dapat dipisahkan.

- ***Power of Hydrogen* (pH)**

Power of Hydrogen (pH) adalah indikator atau derajat keasaman berdasarkan jumlah ion hidrogen dalam perairan dan dinyatakan sebagai konsentrasi ion hidrogen (mol/l)

pada suhu tertentu atau $\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$. Konsentrasi pH yang terdapat pada perairan dapat mempengaruhi kehidupan jasad renik yang berdampak pada tingkat kesuburan perairan. Perairan yang asam cenderung menyebabkan kematian pada ikan. Perairan yang asam menyebabkan konsentrasi oksigen dalam perairan akan rendah yang berdampak pada proses fisiologis dan biologis organisme perairan. Dampak fisiologis ditunjukkan dengan tingginya aktivitas pernafasan, sedangkan secara biologi akan menyebabkan rendahnya nafsu makan organisme perairan yang mempengaruhi kehidupan biologi organisme perairan.

Pengaruh perubahan pH pada ekosistem perairan akan berdampak pada organisme perairan, baik tumbuhan maupun hewan perairan. Nilai pH sangat berpengaruh besar dan penting kesetimbangan ekosistem perairan. Nilai pH yang kurang dari 6.5 akan menekan laju pertumbuhan organisme perairan bahkan tingkat keasamannya dapat mematikan dan tidak ada laju reproduksi untuk organisme perairan, sedangkan pH 6.5-9 merupakan kisaran optimal dalam suatu perairan.

Perairan dapat bersifat asam, tergantung jenis inputan bahan, zat, energi atau komponen lain yang masuk kedalam perairan dan sumber air. Perairan yang asam dapat menghambat proses fisiologis dan biologis organisme perairan. Keasaman perairan dipengaruhi oleh inputan berbagai macam buang limbah. Buangan limbah berdampak pada proses kehidupan organisme perairan. Perubahan pH perairan secara langsung mempengaruhi jasad renik dan berdampak pada kesuburan perairan. Kondisi perairan yang asam menghambat proses dekomposisi bahan organik dan mempercepat laju pertumbuhan jamur yang merugikan bagi ekosistem perairan serta menekan laju pertumbuhan dan reproduksi organisme perairan. Nilai pH yang optimal untuk laju pertumbuhan dan reproduksi organisme perairan berkisar 6.5-9.

- Salinitas

Salinitas adalah konsentrasi dari total ion atau kadar garam yang terdapat di dalam perairan (1 liter air), salinitas dapat diukur dengan menggunakan alat salinometer dan refraktometer. Salinitas merupakan indikator padatan total yang terdapat dalam air. Padatan total diperoleh setelah proses konversi karbonat menjadi oksida, iodida dan bromin menjadi bahan organik yang telah teroksidasi.

Salinitas perairan merupakan faktor lingkungan yang penting untuk organisme perairan terutama perairan laut, organisme laut memiliki toleransi yang berbeda terhadap perubahan nilai salinitas untuk kelangsungan hidupnya. Menurut Dahuri *et al.*, (2001) rata-rata salinitas permukaan perairan Indonesia berkisar antara 32-34 ppt. Perubahan nilai salinitas perairan dipengaruhi oleh *run off* sungai, musim, curah hujan, pasang surut, topografi, dan evaporasi (penguapan).

- *Dissolved Oxygen* (DO)

Dissolved Oxygen (DO) merupakan oksigen terlarut dalam air yang berperan penting bagi kehidupan organisme perairan dalam suatu ekosistem. Nilai oksigen terlarut

dalam perairan sangat fluktuatif sesuai keadaan atmosfer. Oksigen terlarut berasal dari proses difusi udara dan hasil dari proses fotosintesis organisme berklorofil yang terdapat dalam perairan seperti fitoplankton. Fitoplankton merupakan penghasil oksigen utama dalam perairan dibandingkan dengan difusi oksigen dari udara ke perairan yang relatif lebih lama.

Oksigen terlarut dibutuhkan oleh seluruh organisme dan tumbuhan laut untuk proses pernafasan, metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi pertumbuhan dan perkembangbiakan. Oksigen juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Nilai oksigen pada suatu perairan dapat turun disebabkan oleh berbagai faktor, yakni: respirasi yang terjadi pada malam hari, kenaikan suhu air, masuknya limbah organik yang mudah terurai ke lingkungan perairan dan adanya lapisan minyak

- *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan jumlah atau banyaknya oksigen yang digunakan untuk menguraikan sisa-sisa buangan bahan organik melalui proses kimia. Proses penguraian dilakukan melalui reaksi oksidasi menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada keadaan asam dan suhu tinggi dengan katalisator perak sulfat (Boyd, 1990). Penggunaan oksidator kuat memungkinkan akan terjadinya penguraian dan oksidasi berbagai macam bahan organik, baik bahan organik yang mudah terurai maupun kompleks dan sulit terurai.

Pengukuran COD dalam suatu perairan sedikit lebih kompleks terutama terkait dengan penambahan kalium bikromat sebagai oksidator, penggunaan asam pekat dan katalis perak, pemanasan dan proses titrasi. Nilai COD yang diamati dapat sedikit diluar perkiraan, hal ini disebabkan senyawa kompleks anorganik akan ikut mengalami proses oksidasi. Proses oksidasi yang terjadi dalam perairan dapat menyebabkan berkurangnya kandungan oksigen yang terdapat dalam perairan.

BOD merupakan faktor pembatas dalam menentukan tingkat pencemaran perairan. Pencemaran perairan perlu dilakukan pemantauan terhadap komposisi dan konsentrasi limbah pada perairan. Konsentrasi limbah dapat dilihat dengan berbagai indikator pencemaran perairan. Salah satu indikator pencemaran perairan adalah keberadaan *Chemical Oxygen Demand (COD)* dalam perairan tersebut. COD merupakan jumlah oksigen yang diperlukan untuk menguraikan limbah pencemaran secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat seperti kalium bikromat pada kondisi asam dan menggunakan perak sulfat pada suhu tinggi. Sama seperti BOD, COD merupakan indikator jumlah oksigen yang terdapat dalam perairan dan harus diuraikan dengan menggunakan proses oksidasi. Penguraian perlu dilakukan untuk menurunkan nilai COD agar nilai oksigen terlarut dalam perairan. Nilai oksigen terlarut yang terpenuhi dapat membantu proses interaksi antara ekosistem perairan dan menyebabkan terjadinya kesetimbangan ekosistem perairan.

- *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan jumlah oksigen biologis yang dibutuhkan oleh organisme perairan untuk mendegradasi bahan buangan organik dalam lingkungan perairan. Nilai BOD diukur bertujuan untuk mengetahui tingkat terjadinya pencemaran bahan organik. BOD juga merupakan indikator jumlah molekul oksigen yang dimanfaatkan untuk mengoksidasi kandungan bahan organik dalam perairan menggunakan bantuan bakteri aerob. Nilai BOD pada suatu perairan berkorelasi negatif dengan kandungan oksigen terlarut (DO) pada perairan tersebut. Nilai BOD yang tinggi dalam suatu perairan menunjukkan terjadinya penurunan nilai oksigen terlarut pada suatu perairan.

Nilai BOD sangat dipengaruhi oleh kondisi perairan yang beragam, oleh sebab itu diperlukan kecermatan dalam proses pengukuran kandungan BOD. Kecermatan diperlukan dalam hal penetralan pH, pengenceran, aerasi dan penambahan populasi bakteri. Nilai BOD ditentukan oleh kemampuan bakteri dalam mengurai bahan organik sehingga membutuhkan waktu. Proses oksidasi yang relatif lama terjadi pada oksidasi biokimia.

BOD merupakan faktor pembatas dalam menentukan tingkat pencemaran perairan. Perairan yang tercemar memiliki kandungan bahan buangan organik yang tinggi dan dapat merusak lingkungan. Kandungan bahan organik yang tinggi harus dapat diuraikan. Proses penguraian buangan bahan organik memerlukan bantuan mikroorganisme perairan. Proses penguraian yang dilakukan oleh mikroorganisme perairan membutuhkan oksigen untuk proses oksidasi. Proses oksidasi menunjukkan konsentrasi BOD yang tinggi. Konsentrasi BOD tinggi berbanding terbalik dengan nilai oksigen terlarut (DO), hal ini dikarenakan pasokan oksigen yang terdapat di perairan dimanfaatkan oleh bakteri untuk proses oksidasi. Secara kimia, BOD menjadi indikator tingkat pencemaran, karena berhubungan dengan kandungan oksigen terlarut dan penguraian buangan bahan organik perairan. Oksigen terlarut yang rendah menimbulkan pasokan oksigen yang dimanfaatkan oleh organisme lain dalam ekosistem perairan menjadi tidak seimbang, sedangkan proses penguraian yang tidak berjalan normal mengakibatkan perairan menjadi beracun dan berbahaya. Lingkungan perairan yang tidak tercemar memiliki konsentrasi nilai BOD <4 mg/l atau 4 ppm.

- **Bakteri**

Bakteri adalah salah satu golongan organisme prokariotik atau tidak mempunyai selubung inti, bersifat uniseluler dan berukuran renik / mikroskopis. Bakteri merupakan organisme yang paling banyak jumlahnya dan lebih tersebar luas dibandingkan makhluk hidup yang lain. Bakteri memiliki jenis dan spesies yang cukup banyak, bakteri dapat dikelompokkan berdasarkan sintesis bahan makanan (bakteri *autotroph* dan bakteri *heterotroph*), berdasarkan kebutuhan oksigen (bakteri aerob dan bakteri anaerob), berdasarkan pewarnaan gram (bakteri gram positif dan bakteri gram negatif) dan berdasarkan suhu (bakteri psikrofil, bakteri mesofil, bakteri termofil dan bakteri hipotermofil)

3. Neuston

Neuston merupakan organisme perairan baik itu hewan maupun tumbuhan yang hidup di permukaan perairan, organisme yang hidup di permukaan perairan dibagi menjadi dua, yaitu: Epineuston (organisme yang hidup di atas permukaan air) dan Hyponeuston (organisme yang hidup di bawah lapisan permukaan). Salah satu jenis neuston adalah enceng gondok. Enceng gondok (*Eichhornia crassipes*, S) merupakan salah satu tanaman yang mempunyai kemampuan sebagai biofilter. Dengan adanya mikrobiorrhizosfera pada akar dan didukung oleh daya absorpsi serta akumulasi yang besar terhadap bahan pencemar tertentu, maka dapat dimanfaatkan sebagai alternatif pengendali pencemaran di perairan yang bertujuan menjaga ekosistem perairan. Enceng gondok ini merupakan tumbuhan *Emergent* yaitu tumbuhan yang akan mengapung jika terdapat arus dan akan menancapkan akarnya jika perairannya dangkal. Enceng gondok dapat dijadikan sebagai bioindikator pencemaran air pada suatu ekosistem perairan karena kemampuannya dalam mengakumulasi logam berat dalam tubuhnya (bioakumulator).

Organisme neuston yang umum ditemukan di perairan adalah dari kelompok tumbuhan. Kelompok tumbuhan atau vegetasi air disebut dengan makrofita. Makrofita yang terdapat di lingkungan ekosistem perairan terbagi menjadi 3, yakni: (i) vegetasi tersembut (contoh: *Thypha* spp dan *Scirpus* spp), (ii) vegetasi daun mengapung (contoh: Teratai dan enceng gondok) dan (iii) vegetasi terendam (contoh: *Elodea* sp dan *Pantogeton* sp). Organisme perairan neuston sangat dipengaruhi oleh kondisi arus pada ekosistem perairan.

Arus merupakan pergerakan massa air yang dipengaruhi oleh perputaran bumi dan topografi. Berdasarkan letaknya, arus dapat dibedakan menjadi arus atas dan arus bawah, arus atas adalah arus yang bergerak di permukaan laut dan permukaan sungai yang disebabkan oleh angin dan topografi, sedangkan arus dalam terjadi pada arus laut dan danau pada bagian dalam. Arus akan membawa massa air yang ada di dalamnya dan makin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman perairan. Arus berdasarkan topografi merupakan arus air yang mengalir dari daerah tinggi ke daerah rendah atau juga pada daerah limpasan, sedangkan arus yang disebabkan oleh perputaran bumi terjadi pada arus sungai. Perputaran bumi pada porosnya akan menimbulkan kekuatan menggerakkan air mengikuti arah putaran bumi, proses ini dipengaruhi gaya Coriolis.

Gaya Coriolis menyebabkan arus pada bagian permukaan air laut pada bumi bagian utara akan berbelok searah dengan jarum jam dan sebaliknya pada bumi bagian selatan. Pembelokan arah arus oleh gaya Coriolis akan berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman, topografi dasar lautan dan keberadaan pulau disekitarnya. Arus akan menyebabkan nutrisi maupun bahan pencemar yang masuk ke dalam perairan menjadi lebih dinamis, hal ini dapat berdampak baik dan sekaligus buruk pada ekosistem perairan. Dampak baik perairan arus akan mengaduk nutrisi dan zat-zat hara yang dibutuhkan organisme perairan melalui proses *upwelling* dan *downwelling*, sedangkan

dampak bahan pencemar dalam perairan akan mudah teraduk dan merusak ekosistem perairan.

4. Bentos

Bentos merupakan organisme penghuni dasar perairan atau endapan dasar. Organisme bentos bersifat herbivora dan detritivor serta membantu mempercepat proses dekomposisi materi organik. Berbagai jenis dari organisme ini sering dikonsumsi oleh masyarakat, contohnya kerang darah. Kerang darah (*Anadara granosa*) merupakan organisme yang bersifat *filter feeder* dalam memperoleh makanan dan hidupnya menetap (*sessil*) relatif lama di habitatnya. Di samping itu biota ini mempunyai toleransi yang besar terhadap perubahan lingkungan serta mampu bertahan hidup meskipun mengakumulasi bahan pencemar sehingga biota ini digunakan sebagai bioindikator pencemaran perairan dan menjaga keberlangsungan ekosistem yang terjadi di lingkungan perairan (Darmono, 1995).

Organisme bentos memiliki peran ekologis untuk ekosistem perairan. Organisme bentos berukuran mikroskopis seperti Krustase, Isopoda, Decapoda, Oligochaeta, Mollusca, Nematoda dan Annelida. Organisme bentos menempati struktur trofik kedua dan ketiga, membantu proses mineralisasi dan pendaurulangan bahan organik serta membantu mempercepat proses dekomposisi materi organik.

Organisme perairan bentos dapat dikelompokkan menjadi tiga, yakni: berdasarkan ukuran, jenis makanan serta tempat berkembang dan substrat.

- a. Berdasarkan ukuran, organisme bentos berdasarkan ukuran terdiri dari: makrobentos, mikrobentos dan meiobentos.
 - Makrobentos berukuran 1 mm, contohnya: larva Chironomide, Oligochaeta dan Bivalvia
 - Mikrobentos berukuran 0,05 mm, contohnya: Bakteria, Fungi dan Protozoa
 - Meiobentos berukuran 0,05 – 1 mm, contohnya: Nematoda dan Krustacea kecil
- b. Berdasarkan jenis makanan, organisme bentos berdasarkan jenis makanan terdiri dari: *filter feeder* dan *deposit feeder*
 - *Filter feeder* merupakan organisme yang memakan material yang tersuspensi dalam air seperti zat organik dan plankton. Contoh: Bivalvia, Sponge, Ascidiens dan Cacing Kipas
 - *Deposit feeder* merupakan organisme yang memakan material organik yang terjebak dalam sedimen seperti detritus dan material organik yang lebih halus. Contoh: Cacing, Gastropoda, Teripang dan Crustacea
- c. Berdasarkan tempat berkembang dan substrat, organisme bentos berdasarkan tempat tumbuh terdiri dari: Haptobentos, Herpobentos, Endobentos dan Rhizobentos

- Haptobentos merupakan organisme benthik yang berkembang pada substrat keras
- Herpobentos merupakan organisme yang hidup pada substrat yang lunak
- Endobentos merupakan mikroflora yang berkembang dalam substrat
- Rhizobentos merupakan tumbuhan berakar atau makrofit benthik

5. Perifiton

Perifiton adalah organisme yang tumbuh dan melekat pada substrat. Perifiton terdiri dari bakteri, protozoa menempel, algae, rotifera dan mikroorganisme yang hidup menempel. Secara umum, perifiton terdiri dari perifiton nabati dan perifiton hewani. Tiram termasuk spesies perifiton golongan makrofauna benthik. Tiram merupakan salah satu bioindikator terbaik untuk mengetahui tingkat kontaminasi logam berat di suatu daerah. Tiram *S. glomerata* merupakan biota yang potensial terkontaminasi logam berat, karena sifatnya yang *filter feeder* atau menyerap makanannya termasuk kontaminan logam berat sehingga biota ini sering digunakan sebagai hewan uji dalam pemantauan tingkat akumulasi logam berat pada organisme laut. Organisme yang hidup *sedentary* atau menetap, tidak bisa menghindari dari kontaminan dan mempunyai toleransi yang tinggi terhadap konsentrasi logam tertentu sehingga dapat mengakumulasi logam lebih besar dari hewan lainnya (Darmono, 1995).

Mikroorganisme perifiton dapat menunjukkan adanya hubungan antara keberadaan komunitas dengan tingkat kebersihan ataupun pencemaran perairan, sehingga dapat dijadikan indikator biologi atau pencemaran organik. Perifiton bersifat saprobia atau ketergantungan organisme pada proses dekomposisi bahan organik sebagai satu-satunya sumber. Berdasarkan substrat dan penempelannya, organisme perifiton dapat dibagi menjadi enam jenis, antara lain:

- Epililik merupakan organisme yang menempel pada permukaan sedimen dan lumpur
- Epilitik merupakan organisme yang menempel pada permukaan batuan
- Epifitik merupakan organisme yang menempel pada permukaan tumbuhan
- Epizoik merupakan organisme yang menempel pada permukaan hewan
- Episamik merupakan organisme yang hidup dan bergerak diantara butiran pasir-pasir
- Epidendrik merupakan organisme yang tumbuh pada permukaan kayu

F. Adaptasi Organisme Perairan

Organisme perairan merupakan makhluk hidup yang rentan terhadap perubahan kondisi lingkungan. Perubahan faktor pembatas lingkungan menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan pada ekosistem perairan. Ketidakseimbangan ekosistem perairan

memberikan dampak pada pola-pola interaksi organisme perairan. Perubahan faktor pembatas lingkungan perairan dan pola-pola interaksi organisme perairan membutuhkan bentuk adaptasi organisme perairan. Bentuk adaptasi organisme perairan terdiri dari: adaptasi morfologis, adaptasi fisiologis dan adaptasi perilaku.

1. Adaptasi morfologis merupakan suatu jenis adaptasi menyangkut perubahan bentuk struktur tubuh yang disesuaikan dengan kondisi dan karakter lingkungan hidup organisme perairan. Adaptasi morfologis mencakup bentuk tubuh, bentuk ekor, bentuk insang dan bentuk mulut
 - Bentuk tubuh organisme perairan, antara lain: *fusiform*, *compressed*, *depressed*, *leptocephali*, *eel-like (aguiliform)*, *thread-like*, *ribbon-like*, *arrow-like (sagittiform)*, *combination of shapes*
 - Bentuk ekor organisme perairan, antara lain: *rounded*, *truncate*, *emarginate*, *forked* dan *lunate*
 - Bentuk insang organisme perairan, antara lain: *Gill arches* dan *gill filaments*
 - Bentuk mulut organisme perairan, antara lain: *terminal*, *sub-terminal*, *inferior*, *superior*, *retracted*, *protracted*, *incisor-like*, *canine-like*, *molar-like* dan *villiform*
2. Adaptasi fisiologis merupakan suatu jenis adaptasi menyangkut perubahan kerja faal organ tubuh disesuaikan dengan lingkungan hidup. Contoh kerja organ insang ikan.
3. Adaptasi perilaku merupakan adaptasi tingkah laku dari organisme perairan. Contoh tingkah laku ikan terkait dengan kebutuhan akan oksigen dan reproduksi ikan. Ikan lumba-lumba memiliki kebiasaan loncat di atas permukaan air untuk menghirup udara, karena bernafas menggunakan paru-paru. Ikan salmon hidup di air asin kemudian bermigrasi ke perairan tawar untuk bertelur (anadromus), sebaliknya ikan sidat hidup di perairan tawar dan akan kembali ke laut untuk bertelur.

BAB III

PENCEMARAN EKOSISTEM PERAIRAN

Ekosistem perairan merupakan lingkungan yang saling berinteraksi antara satu komponen dengan komponen lainnya. Proses interaksi terjadi pada kondisi lingkungan atau ekosistem yang seimbang dan akan mengalami perubahan apabila terjadi ketidakseimbangan ekosistem. Ketidakseimbangan ekosistem perairan disebabkan oleh masuknya bahan-bahan tertentu yang dapat mengakibatkan pencemaran. Bab ini membahas tentang definisi pencemaran perairan, bahan dan jenis-jenis limbah pencemaran perairan, proses terjadinya pencemaran perairan, dampak pencemaran terhadap kehidupan akuatik, pengendalian pencemaran perairan dan regulasi pengelolaan kualitas perairan.

A. Definisi Pencemaran Perairan

Pencemaran merupakan aspek yang membahayakan bagi lingkungan. Pencemaran merupakan produk dari eksistensi dan aktivitas manusia. Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup menyatakan pencemaran adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan. Kondisi lingkungan yang melampaui batas dapat merubah bentuk asli lingkungan.

Pencemaran merupakan kondisi yang telah berubah dari bentuk asal pada keadaan buruk yang disebabkan oleh bahan polutan (Ainuddin dan Widyawati, 2017). Lebih lanjut Palar (1994) menjelaskan bahwa bahan polutan mempunyai sifat racun yang berbahaya bagi organisme hidup. Berdasarkan penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa pencemaran merupakan masuknya zat, energi, makhluk hidup, dan komponen lain yang memiliki sifat racun atau toksik yang berbahaya bagi organisme hidup. Sifat toksik bahan pencemar sangat berbahaya bagi lingkungan atau dapat menimbulkan dampak ekotoksikologi.

Ekotoksikologi merupakan ilmu yang mempelajari hubungan bahan-bahan racun (toksik) dengan makhluk hidup dalam suatu lingkungan akibat adanya pencemaran (Batu, 2017). Lebih lanjut Hertika dan Putra (2019) menjelaskan ekotoksikologi merupakan pengaruh secara langsung efek *stressor*/toksik (abiotik) pada lingkungan terhadap semua tingkat biologis organisme baik dari molekul ke seluruh komunitas dan ekosistem. Berdasarkan penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa pencemaran perairan oleh bahan-bahan toksik di lingkungan perairan dapat mempengaruhi makhluk hidup pada semua tingkat biologis makhluk hidup mulai dari molekul sampai dengan komunitas dan ekosistem. Pencemaran lingkungan terdiri dari 3, yakni:

1. Pencemaran air merupakan penurunan kualitas air sampai ketinggian tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukan
2. Pencemaran udara merupakan ambien udara turun sampai ketinggian tertentu yang menyebabkan ambien udara tidak dapat berfungsi dengan baik
3. Pencemaran tanah merupakan keadaan merubah lingkungan alami tanah karena masuknya bahan kimia

Pencemaran ekosistem perairan merupakan masuknya bahan pencemar atau polutan yang dapat berupa gas, bahan-bahan terlarut dan partikulat ke dalam perairan yang dapat memberikan dampak toksik pada ekosistem perairan. Pencemaran ekosistem perairan dapat melalui atmosfer, tanah, limpasan (*run off*) dan limbah domestik serta industri. Konsentrasi pencemaran perairan dipengaruhi oleh intensitas atau kekuatan sumber pencemaran, karakteristik bahan pencemar, kondisi meteorologi dan klimatologi dan faktor geografi atau topografi. Pencemaran perairan jenis dan sumber bahan pencemaran air terdiri dari: limbah yang memerlukan oksigen, agen penyebab penyakit, bahan kimia anorganik dan mineral, bahan kimia organik, zat hara (nitrat dan fosfat), sedimen, radioaktif dan panas. Sumber pencemaran perairan dapat diklasifikasikan menjadi 2, yakni:

1. Pergerakan bahan pencemar berasal dari sumber tetap seperti limbah industri, rumah tangga dan pemukiman. Sedangkan sumber bergerak seperti kendaraan bermotor
2. Sifat sumber bahan pencemar berasal dari sumber alami (gunung berapi) dan sumber antropogenik (pemukiman)

B. Bahan dan Jenis-Jenis Limbah Pencemar Perairan

Bahan pencemar merupakan komponen, zat, partikulat dan bahan-bahan terlarut yang dapat menurunkan kualitas air sampai pada batas tertentu dan mempengaruhi ekosistem perairan. Bahan pencemar masuk ke dalam perairan melalui atmosfer, tanah, limpasan (*run off*) dan limbah domestik serta limbah industri. Bahan pencemar dapat dikelompokkan menjadi 2, yakni: bahan pencemar tak beracun dan bahan pencemar beracun.

1. Bahan pencemar beracun (toksik)

Bahan pencemar beracun merupakan bahan pencemar yang menyebabkan kematian (*lethal*) maupun bukan kematian (*sublethal*) misalnya terhambatnya pertumbuhan, perubahan tingkah laku dan perubahan berbagai karakteristik morfologi berbagai organisme perairan. Bahan pencemar beracun memiliki karakteristik bersifat korosif, reaktif, beracun, mudah meledak, mudah menyala dan dapat menginfeksi. Bahan pencemar berbahaya yang umum ditemukan di perairan berasal dari inputan kegiatan yang dilakukan di darat oleh manusia (xenobiotik) seperti pestisida, detergen dan bahan-bahan artifisial lainnya. Bahan beracun dalam perairan sulit terurai dan bersifat stabil sehingga bersifat persisten dalam

jangka waktu yang lama. Bahan beracun perairan ditemukan dalam bentuk logam, senyawa organik, anion, asam, dan alkali.

2. Bahan pencemar tak beracun (non-toksik)

Bahan pencemar tak beracun (non-toksik) umumnya sudah berada pada ekosistem perairan secara alamiah. Bahan pencemar bersifat merusak apabila konsentrasi bahan tersebut dalam jumlah berlebihan sehingga dapat mengganggu keseimbangan ekosistem melalui berbagai proses fisika dan kimia perairan. Bahan pencemar tak beracun terdiri atas bahan-bahan tersuspensi dan nutrisi. Bahan tersuspensi dapat mengakibatkan tingkat kekeruhan meningkat yang berakibat pada menurunnya tingkat kecerahan yang disebabkan oleh terhambatnya penetrasi cahaya matahari. Terhambatnya penetrasi cahaya matahari berdampak pada proses fotosintesis. Keberadaan unsur hara berupa nutrisi dalam jumlah banyak menimbulkan dampak pengkayaan perairan (eutrofikasi). Eutrofikasi dapat memicu pertumbuhan mikroalga dan tumbuhan air secara pesat yang berakibat pada kesimbangan ekosistem. Pertumbuhan mikroalga dan tanaman air secara berlebihan menyebabkan kandungan oksigen yang terdapat dalam perairan berkurang.

Ekosistem perairan yang mengalami pencemaran atau terdapat hasil inputan bahan pencemar ditandai dengan adanya limbah yang memerlukan oksigen, terdapat agen penyebab penyakit, bahan kimia organik dan anorganik, kandungan hara (nitrat dan fosfat), terdapat laju sedimentasi, radioaktif, dan panas. Faktor-faktor tersebut dapat mempengaruhi nilai konsentrasi bahan pencemar. Selain itu, nilai konsentrasi bahan pencemar juga dipengaruhi oleh intensitas dan kekuatan sumber, karakteristik bahan pencemar, kondisi meteorologi dan klimatologi serta faktor geografi atau topografi. Nilai konsentrasi bahan pencemar mempengaruhi kehidupan berbagai organisme perairan terutama yang disebabkan oleh logam berat. Pencemaran logam berat terhadap lingkungan perairan terjadi karena adanya suatu proses yang erat hubungannya dengan penggunaan logam tersebut dalam kegiatan manusia dan secara sengaja maupun tidak sengaja membuang berbagai jenis limbah beracun termasuk di dalamnya terkandung logam berat ke dalam lingkungan perairan.

Pencemaran limbah perairan terjadi karena masuknya bahan polutan atau bahan tercemar ke dalam air dengan konsentrasi yang cukup besar sehingga mempengaruhi kualitas perairan dan organisme di dalamnya serta keseimbangan ekosistem perairan. Perairan yang tercemar disebabkan oleh rembesan zat kimia beracun dari timbunan limbah industri, limbah rumah tangga, maupun pencemar lainnya. Pencemaran perairan berdampak luas, misalnya dapat meracuni sumber air minum, meracuni sumber makanan hewan, ketidakseimbangan ekosistem sungai dan danau serta timbulnya berbagai macam penyakit. Ditinjau dari asal polutan dan sumber pencemarannya, maka pencemaran perairan dapat disebabkan oleh limbah rumah tangga, limbah industri, limbah pertanian, dan limbah pertambangan.

1. Limbah Rumah Tangga

Aktivitas manusia menghasilkan berbagai macam limbah yang dapat merusak ekosistem perairan. Limbah rumah tangga dapat berupa sampah-sampah plastik, sisa makanan, dan kotoran manusia yang akan terakumulasi di lingkungan seperti sungai. Pembuangan limbah ke perairan dapat menyebabkan pencemaran perairan. Sampah plastik yang dibuang ke sungai dapat menyebabkan tersumbatnya aliran sungai. Sampah berupa sisa makanan dan kotoran manusia dapat menyebabkan meningkatnya mikroorganisme penyebab penyakit yang hidup di sungai.

Meningkatnya mikroorganisme dapat menyebabkan berkurangnya kadar oksigen dalam perairan. Indikator kualitas perairan yang paling baik yang dapat digunakan dalam menentukan tingkat pencemaran perairan adalah BOD (*Biological Oxygen demand*). BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk perombakan bahan organik dalam suatu perairan oleh mikroorganisme pada suhu dan volume tertentu. Semakin besar nilai BOD suatu perairan, semakin sedikit oksigen yang tersedia untuk organisme di perairan. BOD sangat erat kaitannya dengan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*). Semakin tinggi nilai BOD suatu perairan, semakin sedikit jumlah oksigen terlarut. Semakin tinggi nilai BOD semakin tinggi tingkat pencemaran. Akibatnya organisme perairan seperti ikan, udang, dan kerang akan mati karena kekurangan oksigen.

2. Limbah Industri

Meningkatnya jumlah perusahaan dan industri tidak diimbangi dengan sistem pengelolaan limbah yang memadai. Banyak perusahaan yang tidak menyediakan unit pengolahan limbah, sehingga limbah industri ini langsung dibuang ke sungai. Limbah ini dapat berupa air dengan suhu tinggi yang dapat membunuh organisme perairan, zat pewarna, bahkan zat-zat kimia berbahaya yang dapat memusnahkan seluruh organisme di perairan tersebut dan berbahaya bagi manusia yang mengkonsumsinya. Pencemaran limbah industri berupa logam raksa pernah menyebabkan kasus minamata di Jepang akibat ikan yang dimakan telah tercemar oleh logam raksa. Penyakit ini menyebabkan banyak orang menjadi cacat karena terjadinya kelainan syaraf dan juga menyebabkan kematian.

3. Limbah Pertanian

Pertanian juga berperan dalam pencemaran ekosistem air. Pupuk yang ditebar di sawah-sawah tidak semuanya dapat digunakan oleh tanaman. Sebagian besar pupuk ini hanyut terbawa aliran air dan terkumpul di danau. Jumlah pupuk yang tinggi menyebabkan terjadinya ledakan populasi alga (*algae blooming*) dan populasi eceng gondok. Ledakan populasi ini menyebabkan terjadinya eutrofikasi yaitu penyuburan perairan yang berlebihan. Hal ini dapat berakibat buruk bagi makhluk hidup di perairan tersebut akibat berkurangnya jumlah oksigen yang larut dalam perairan. Proses eutrofikasi biasanya ditandai dengan perubahan warna perairan menjadi hijau, kuning, atau merah sesuai alga yang tumbuh atau

tertutupinya permukaan perairan oleh eceng gondok yang disusul dengan kematian massal berbagai organisme perairan seperti ikan.

Limbah pertanian yang tidak dapat diuraikan (*non-biodegradation*) antara lain adalah *Dichloro Diphenyl Trichloroethan* (DDT). DDT merupakan pestisida yang bersifat stabil. Bila masuk ke dalam tubuh suatu organisme maka bahan tersebut tidak dapat dirombak, bahkan larut dalam lemak. DDT dapat berpindah ke organisme lainnya bersama-sama dengan aliran materi dalam suatu rantai makanan. Pengaruh DDT terhadap organisme antara lain: merusak jaringan tubuh, secara tidak langsung dapat menimbulkan kanker, dan dapat menimbulkan kejang otot bahkan kelumpuhan. DDT bertanggung jawab atas punahnya beberapa populasi ikan.

4. Limbah Pertambangan

Pertambangan memerlukan proses lanjutan pengolahan hasil tambang menjadi bahan yang diinginkan, misalnya pertambangan emas. Pada proses hasil pengolahan tambang emas diperlukan air raksa sehingga akan menghasilkan limbah logam berat cair yang dapat menimbulkan penyakit. Berbagai penambangan lainnya seperti tembaga, besi dan timah juga menyebabkan pencemaran perairan. Pada umumnya limbah tambang tersebut dibuang langsung ke sungai, khususnya pada tambang-tambang tradisional tanpa melewati proses pengolahan yang tepat. Organisme perairan yang tercemar logam berat dapat membahayakan bagi organisme tersebut dan menyebabkan berbagai macam penyakit pada manusia yang mengkonsumsi ikan tersebut.

C. Proses Terjadinya Pencemaran Perairan

Perairan merupakan komponen yang rentan terjadinya pencemaran, hal ini disebabkan oleh sifat air yang mudah melarutkan. Air adalah pelarut yang sangat baik karena dapat melarutkan berbagai macam senyawa ionik dan polar (Suyasa, 2015). Air dapat melarutkan berbagai komponen dan bahan beracun yang terakumulasi di lingkungan perairan. Lingkungan perairan dapat mentolerir bahan pencemar pada batas tertentu dan dapat menimbulkan pencemaran perairan pada jumlah melebihi daya dukung perairan.

Pencemaran perairan dapat terjadi karena berbagai aktivitas manusia baik di darat maupun di perairan serta karena proses alami lingkungan. Aktivitas manusia memberikan dampak signifikan terhadap perubahan ekosistem perairan, hal ini menunjukkan bahwa secara tidak langsung manusia memiliki keterlibatan dalam ekosistem perairan. Manusia memanfaatkan sumber daya air untuk berbagai kegiatan produksi. Kegiatan produksi menghasilkan bahan yang tidak termanfaatkan atau hasil buangan. Hasil buangan dapat dikategorikan sebagai limbah. Limbah merupakan sumber pencemar yang dapat menimbulkan perubahan pada lingkungan. Limbah yang terdapat di lingkungan dapat berbentuk padat, cair dan gas.

Limbah dapat tersebar dimana-mana serta mengganggu keseimbangan lingkungan. Limbah dapat ditemukan di udara, darat, dan air. Limbah dalam jumlah kecil masih dapat ditolerir oleh lingkungan, tetapi apabila jumlahnya melebihi dari daya dukung dapat menimbulkan pencemaran. Limbah yang berada di darat dan udara dapat masuk ke perairan dan menimbulkan pencemaran perairan. Limbah masuk ke perairan melalui mekanisme seperti: siklus hidrologi dan proses alamiah.

Siklus hidrologi merupakan proses perputaran dan perubahan wujud air di bumi yang membentuk siklus. Air di bumi mengalami berbagai siklus perputaran dan pertukaran wujud melalui proses penguapan, transpirasi, kondensasi dan presipitasi, peresapan ke dalam tanah (pengisian air tanah), pengaliran permukaan, pemakaian oleh kehidupan dan aktivitas manusia serta pelepasan kembali ke badan air. Siklus hidrologi dipengaruhi oleh peran energi matahari dan gaya gravitasi bumi. Energi matahari menyebabkan air di permukaan bumi seperti sungai, danau dan laut mengalami evaporasi. Evaporasi menyebabkan adanya uap air yang masuk ke atmosfer. Uap air masuk ke atmosfer juga disebabkan oleh proses transpirasi oleh tumbuhan. Uap air di atmosfer akan mengalami pendinginan sehingga terjadi kondensasi dan membentuk awan. Awan setelah mencapai berat yang cukup akan jatuh ke permukaan bumi sebagai hujan (Suyasa, 2015).

Hujan yang jatuh ke permukaan akan mengikat polusi atau bahan pencemar di udara dan kemudian jatuh ke permukaan bumi. Air hujan yang jatuh ke permukaan bumi akan mengalir di atas permukaan sungai dan meresap ke dalam tanah serta membawa bahan pencemar dari udara. Aliran sungai menjadi perantara masuknya berbagai macam limbah yang di produksi oleh berbagai aktivitas di darat seperti: pertanian, pertambangan, industri, dan rumah tangga. Limbah tersebut akan terakumulasi di perairan dan organisme perairan. Akumulasi limbah di perairan dapat menyebabkan terganggunya kehidupan dalam ekosistem dan menyebabkan keracunan pada perairan sehingga perairan tidak dapat digunakan sesuai fungsinya, sedangkan akumulasi limbah dalam organisme perairan dapat menyebabkan kematian pada organisme perairan. Tidak hanya sepanjang aliran sungai, limbah juga dapat mencemari air bawah tanah sepanjang puluhan bahkan belasan meter dari sungai (Sahabuddin, 2012). Selain itu, limbah masuk ke perairan terjadi secara alamiah karena proses-proses alami seperti banjir, letusan gunung berapi dan gas alam beracun.

D. Dampak Pencemaran Terhadap Kehidupan Akuatik

Aktivitas manusia di daratan sangat mempengaruhi kondisi ekosistem perairan. Semua aktivitas di daratan berpotensi menghasilkan berbagai macam limbah yang dapat mengganggu ekosistem perairan. Ekosistem perairan merupakan penunjang kehidupan berbagai organisme perairan. Organisme perairan dalam ekosistem saling berhubungan membentuk interaksi yang saling terkait. Perilaku manusia yang tidak ramah lingkungan dan bertanggung jawab dapat merusak kesetimbangan dan kesimbangan ekosistem perairan

yang terbentuk secara alamiah maupun buatan. Perilaku yang tidak bertanggung jawab dapat merusak keseimbangan ekosistem perairan dapat menimbulkan pencemaran dan sedimentasi perairan.

Pencemaran dan sedimentasi merupakan dampak nyata dari berbagai aktivitas manusia di daratan yang mengancam kehidupan organisme perairan. Perairan merupakan masuknya bahan-bahan pencemar seperti zat, energi, makhluk hidup, dan komponen-komponen lain ke dalam perairan yang melebihi ambang batas. Nilai bahan pencemar yang melebihi ambang batas sangat berpengaruh pada ekosistem perairan dan menyebabkan menurunnya kualitas air turun sampai pada tertentu. Selain pencemaran air, terdapat juga pencemaran udara dan pencemaran tanah. Secara umum, pencemaran udara dan tanah sebagian besar akan terakumulasi pada perairan melalui berbagai proses seperti difusi dari udara ke perairan melalui air hujan dan rembesan melalui *run off* sungai.

Aktivitas utama manusia yang memproduksi limbah berasal dari kegiatan rumah tangga, industri, pertanian, dan pertambangan. Limbah dapat dikelompokkan ke dalam 3 kelompok, yakni: limbah cair, limbah padat dan gas. Limbah cair dan mudah terhomogen dengan perairan dan menimbulkan bau, sedangkan limbah padat membutuhkan waktu yang relatif lama untuk terurai. Limbah yang mencemari lingkungan perairan dapat meracuni sumber air minum, mempengaruhi kesetimbangan dan merusak ekosistem perairan. Berdasarkan sumbernya, pencemaran dapat diklasifikasikan berdasarkan pergerakan dan sifat sumber pencemaran. Pergerakan limbah terdiri dari sumber tetap (industri dan rumah tangga) dan sumber bergerak (kendaraan bermotor yang menghasilkan karbondioksida). Sedangkan sumber pencemaran berdasarkan sifat sumber berasal dari proses-proses alamiah (banjir, gunung berapi dan gas alam beracun) dan sumber antropogenik.

Pencemaran perairan memberikan dampak pada ekosistem perairan dan kehidupan organisme akuatik. Ekosistem perairan memiliki nilai ambang batas bahan pencemar yang dapat ditampung oleh ekosistem. Bahan pencemar memiliki tingkat toksisitas yang berbeda-beda tergantung pada konsentrasi bahan pencemar. Toksisitas bahan pencemar berpengaruh pada kehidupan organisme akuatik. Toksisitas bahan pencemar menyebabkan gangguan enzim pada organisme akuatik. Enzim merupakan katalisator dari semua fungsi tubuh organisme akuatik (Hertika dan Putra, 2019). Secara umum, dampak toksisitas bahan pencemar terhadap organisme akuatik, yakni: lethal, sublethal, akut, kronis, dan akumulatif.

1. Lethal merupakan kematian secara langsung organisme akuatik yang disebabkan oleh keracunan perairan karena masuknya bahan pencemar atau toksik ke dalam perairan.
2. Sublethal berbeda dengan lethal. Sublethal tidak langsung menimbulkan kematian pada organisme akuatik, tetapi menyebabkan perubahan perilaku, kegagalan pertumbuhan dan gangguan fungsi tubuh.

3. Akut merupakan efek yang terjadi secara singkat dan menimbulkan kematian pada organisme akuatik.
4. Kronis merupakan efek yang terjadi secara perlahan dan dalam periode waktu yang lama. Kronis dapat menyebabkan kematian (lethal) dan sublethal.
5. Akumulatif merupakan efek pencemaran yang terakumulasi secara terus menerus dalam tubuh organisme akuatik akibat terjadinya peningkatan konsentrasi bahan pencemar di perairan.

Secara umum, kegiatan masyarakat pada berbagai bidang kehidupan memberikan dampak pencemaran pada ekosistem perairan. Sifat bahan pencemar yang beragam dapat mengakibatkan keracunan pada sumber air minum masyarakat, meracuni ekosistem perairan, menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem dan kerusakan ekosistem perairan. Dampak yang ditimbulkan apabila tidak dikelola dengan baik dapat mengganggu keberlanjutan ekosistem perairan. Untuk itu, diperlukan pengetahuan terkait upaya-upaya penanganan pencemaran perairan seperti: (i) mengetahui sumber pencemaran, (ii) melakukan mekanisme pertukaran air, (iii) mengidentifikasi pengaruh pencemaran, (iv) mengidentifikasi dampak pada lingkungan, dan (v) mengetahui regulasi atau undang-undang dan pembatasan kegiatan menjadi sumber pencemaran.

E. Pengendalian Pencemaran Perairan

Lingkungan perairan memiliki daya dukung terhadap berbagai aktivitas manusia. Berbagai aktivitas manusia memberikan dampak pada keberlangsungan ekosistem perairan. Ekosistem perairan dapat bejalan sesuai dengan fungsinya apabila berada dalam kondisi seimbang. Kondisi seimbang dipengaruhi oleh inputan bahan pencemar dan daya dukung perairan menampung bahan pencemar. Konsentrasi bahan pencemaran yang melebihi ambang batas perairan atau daya dukung perairan dapat dikategorikan bahwa perairan sudah mengalami pencemaran.

Pencemaran perairan harus dikelola dengan baik agar tidak memberikan dampak lingkungan dan berbagai kegiatan yang memanfaatkan jasa lingkungan perairan. Secara umum, pengelolaan lingkungan perairan dilakukan dengan dua cara, yakni: secara teknis dan non-teknis. Secara teknis pengelolaan pencemaran berkaitan dengan sumber dan penanganan limbah atau bahan buangan. Teknis pengelolaan pencemaran dimulai dari proses, pengelolaan limbah dan penggunaan teknologi yang membantu mengurangi pencemaran terhadap lingkungan. Sedangkan secara non-teknis dilakukan dengan menyusun regulasi terkait perencanaan, pengaturan, pengawasan terhadap segala macam kegiatan yang berpotensi menghasilkan limbah yang menyebabkan pencemaran perairan (Indrawati, 2011). Aspek teknis dan non-teknis merupakan upaya pengendalian pencemaran perairan.

Pengendalian pencemaran berhubungan dengan upaya pencegahan dan pengendalian dari sumber pencemar. Pengendalian pencemaran perairan dapat dilakukan menggunakan prinsip 3R (*reduce, reuse* dan *recycle*).

1. *Reduce* merupakan upaya pengendalian pencemaran dengan meminimalisir produksi bahan pencemar yang dapat merusak lingkungan. Contohnya: penggunaan energi matahari sebagai alternatif berbahan bakar listrik dalam kegiatan budidaya sehingga tidak terlalu memberikan dampak pada lingkungan perairan.
2. *Reuse* merupakan penggunaan kembali barang atau media untuk kegunaan yang sama. Contohnya: penggunaan media air dalam kegiatan budidaya menggunakan teknologi *Aquaculture Recirculation System* (RAS), sehingga dapat meminimalisir pencemaran bahan organik akibat kegiatan budidaya
3. *Recycle* merupakan upaya penggunaan kembali barang untuk kegiatan yang sama. Contohnya: pengolahan air limbah budidaya tambak udang dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), hal ini bertujuan untuk mereduksi nilai limbah dari air buangan budidaya agar tidak mencemari lingkungan perairan. Air limbah yang direduksi akan dibuang ke perairan dan akan digunakan lagi oleh tambak budidaya melalui mekanisme pasang surut.

F. Regulasi Pengelolaan Kualitas Perairan

Regulasi pengelolaan kualitas air adalah alat yang digunakan untuk mengatasi permasalahan lingkungan hidup termasuk perairan. Perairan merupakan daerah yang mudah mendapatkan masukan bahan pencemaran yang dapat mempengaruhi kehidupan ekosistem perairan. Oleh sebab itu, perlu dilakukan pengelolaan kualitas air secara tepat dan benar melalui beberapa regulasi yang sudah ditetapkan oleh pemerintah. Regulasi yang terkait dengan pengelolaan kualitas air adalah Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Pengelolaan kualitas air merupakan upaya menjaga dan memelihara kualitas air sesuai dengan kondisi alamiahnya. Kondisi kualitas air yang alamiah baik untuk dimanfaatkan sesuai dengan peruntukannya. Kegiatan yang dilakukan harus tidak mencemari perairan tersebut. Tingkat pencemaran perairan dapat diminimalisir dengan upaya pengendalian pencemaran perairan. Pengendalian pencemaran merupakan suatu usaha pencegahan dan penanggulangan serta pemulihan kualitas air agar sesuai dengan baku mutu perairan.

Baku mutu perairan merupakan ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi dan komponen lain yang dapat ditoleransi keberadaannya pada suatu perairan. Baku mutu perairan berdasarkan Lampiran Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 terbagi menjadi empat kelas, yakni:

1. Kelas satu air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
2. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
3. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
4. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut

BAB IV

LINGKUNGAN PERAIRAN BUDIDAYA

Air merupakan zat, materi atau unsur penting bagi segala bentuk kehidupan Bumi. Bumi ditutupi oleh air 71% dari total luas permukaan Bumi. Jumlah air yang cukup banyak merupakan sumber daya alam yang dimanfaatkan dan dilindungi serta dijaga. Bentuk pemanfaatan air tidak hanya untuk keperluan sehari-hari seperti rumah tangga dan pertanian. Jauh dari itu, air merupakan sumber daya yang memberikan jasa-jasa dalam meningkatkan ekonomi melalui dunia perikanan seperti budidaya. Bab ini membahas tentang lingkungan perairan budidaya, budidaya ramah lingkungan dan sistem budidaya serta kondisinya.

A. Lingkungan Perairan Budidaya

Lingkungan perikanan budidaya tidak terlepas dari keberadaan dan fungsi air sebagai komponen utama, oleh sebab itu lingkungan perairan untuk dijaga untuk dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Lingkungan perikanan budidaya berdasarkan perbedaan salinitas perairan dapat dibedakan menjadi 3 kelompok, yakni: lingkungan perairan tawar, lingkungan perairan payau, dan lingkungan perairan laut.

1. Lingkungan perairan tawar

Perairan tawar merupakan perairan dengan kadar salinitas kurang dari 0,5 ppt. Nilai salinitas kurang dari 0,5 ppt dapat ditemukan pada mata air, sungai, danau dan air tanah. Perairan tawar memiliki kandungan *nutrient* yang lebih tinggi dibandingkan dengan perairan laut. Nutrien yang berada pada air tawar berasal dari aliran air permukaan maupun oleh masukan dari berbagai aktivitas manusia seperti keperluan rumah tangga dan pertanian yang menyebabkan tingkat masukan *nutrient* dan mikroba pencemar ke badan air menjadi lebih tinggi. Berdasarkan kandungan nutriennya, perairan tawar dapat dikelompokkan menjadi 3, yakni: oligotrofik, mesotrofik dan eutrofik

- a. Oligotrofik adalah perairan yang minim kandungan zat hara, kandungan oksigen terlalu tinggi dan tidak memiliki stratifikasi kolom air yang jelas, hal ini menyebabkan pertumbuhan organisme perairan baik hewan maupun tumbuhan menjadi tidak optimal.
- b. Mesotrofik adalah perairan yang memiliki tingkat kecerahan tinggi dengan kandungan unsur hara sedang. Kandungan unsur hara sedang menyebabkan produktivitas primer dan biomassa organisme perairan sedang.
- c. Eutrofik adalah perairan yang memiliki kandungan zat hara cukup tinggi dan sangat baik untuk pertumbuhan organisme perairan baik hewan maupun tumbuhan.

Kandungan nutrisi yang tinggi terutama pada air sungai dan danau. Sungai dan danau merupakan sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan dan dikembangkan untuk kegiatan budidaya ikan dalam bentuk Keramba Jaring Apung (KJA) bisa dilakukan di sungai dan danau yang cukup luas. Ikan yang bisa dibudidayakan dalam KJA antara lain: ikan mas, ikan nila dan ikan lele. Budidaya ikan menggunakan KJA ataupun metode lainnya di sungai dan danau harus memperhatikan tata ruang perairan dan daya dukung perairan, hal ini bertujuan untuk memanfaatkan perairan secara baik dan tepat dan meminimalkan dampak pada lingkungan perairan tersebut.

2. Lingkungan perairan payau

Perairan payau merupakan perairan dengan kadar salinitas 0,5 – 30 ppt. salinitas perairan payau dapat dikelompokkan menjadi 3, yakni: oligohalin (salinitas sekitar 0,5 – 3 ppt), mesohalin (salinitas sekitar 3 – 16,5 ppt) dan polyhalin (salinitas sekitar 16,5 – 30 ppt). Lingkungan perairan payau memiliki karakter yang sangat dinamis karena arus, gelombang pasang surut yang menyebabkan terjadinya pengadukan dan pencampuran massa air tawar dan laut khususnya pada daerah estuari atau muara, hal ini menyebabkan lingkungan perairan tawar menjadi sangat berfluktuasi mengikuti faktor-faktor tersebut. Lingkungan perairan payau memiliki ciri khas kolom air yang relatif dangkal dan populasi mikroba perairan cenderung seragam dan toleran terhadap kadar garam.

Lingkungan perairan payau merupakan lingkungan dengan potensi perikanan budidaya yang cukup besar. Di Indonesia, lingkungan perairan payau dijadikan Kawasan tambak budidaya untuk berbagai komoditas yang bernilai ekonomi penting seperti ikan bandeng, udang windu, udang vannamei dan kepiting bakau. Lingkungan perairan payau harus dapat dikelola dengan baik untuk dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Pengelolaan lingkungan perairan payau untuk kegiatan tambak terkendala berbagai masalah seperti air tambak kaya akan nutrisi dan menyebabkan eutrofikasi, memiliki kandungan bahan organik tersuspensi, berbentuk partikel, mikroorganisme patogen yang tinggi dan degradasi lingkungan.

Budidaya udang vannamei merupakan salah satu usaha yang memiliki prospek sangat baik apabila dilakukan dengan tepat dan benar. Budidaya udang vannamei yang tepat dan benar yakni dengan menerapkan prinsip-prinsip budidaya yang berkelanjutan dengan tujuan mendapatkan keuntungan semaksimal mungkin dan meminimalkan dampak pada lingkungan. Kegiatan budidaya yang dilaksanakan harus memperhatikan daya dukung lingkungan. Daya dukung lingkungan merupakan konsep kegiatan pengelolaan sumberdaya alam dan lingkungan secara berkelanjutan dengan tujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan dan penurunan sumberdaya alam dan lingkungan di wilayah pesisir sehingga dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan (Dahuri *et al.*, 2001; Azis, 2011).

Lingkungan perairan payau merupakan lingkungan perairan yang memiliki permasalahan yang kompleksitas tinggi akibat dari pemanfaatan lingkungan tersebut,

kompleksitas permasalahan lingkungan tersebut antara lain: pencemaran, erosi, sedimentasi pantai, *overfishing*, kepunahan jenis spesies tertentu, dan konflik penggunaan lahan. Tingginya tekanan terhadap lingkungan perairan payau memberikan dampak pada kemampuan dari kawasan tersebut.

Menurut Bengen (2002), konsep daya dukung dapat dibedakan menjadi empat macam, yaitu:

- a. Daya dukung ekologis, adalah batas maksimum, jumlah dan volume dari pemanfaatan suatu sumber daya atau ekosistem yang dapat diakomodasi.
- b. Daya dukung fisik, merupakan batas maksimum dari pemanfaatan suatu sumber daya dan ekosistem dalam suatu kawasan tanpa menyebabkan terjadinya penurunan kualitas lingkungan.
- c. Daya dukung sosial adalah tingkat kenyamanan dan apresiasi pengguna suatu sumber daya atau ekosistem terhadap suatu kawasan akibat adanya pengguna lain dalam waktu bersamaan.
- d. Daya dukung ekonomi adalah tingkat skala usaha dalam pemanfaatan suatu sumber daya yang memberikan keuntungan ekonomi maksimum secara berkesinambungan.

3. Lingkungan perairan laut

Lingkungan perairan laut merupakan lingkungan perairan yang paling dominan dibandingkan dengan lingkungan perairan tawar dan payau. Lingkungan perairan laut memiliki kompleksitas yang tinggi baik organisme maupun proses-proses hidrooseanografi yang terjadi. Organisme yang hidup lingkungan perairan didominasi oleh kelompok nekton, sedangkan proses-proses oseanografi yang terjadi antara lain: arus, gelombang, pasang surut, dan angin. Lingkungan perairan laut dapat dikelompokkan menjadi 2 zona, yakni: zona fotik dan zona afotik. Pengelompokan zona dilakukan berdasarkan ketercapaian cahaya matahari kedalam perairan. Zona fotik merupakan zona yang masih dapat dicapai oleh cahaya matahari dan biasanya berada pada daerah pelagik, sedangkan zona afotik adalah zona yang tidak dapat ditembus oleh cahaya matahari dan biasanya berada pada kedalaman.

Lingkungan perairan laut dipengaruhi oleh ketersediaan cahaya matahari untuk mendukung produktivitas primer. Ketersediaan cahaya matahari didalam perairan berubah berdasarkan kedalaman, perbedaan berdasarkan kedalaman menyebabkan terjadinya perbedaan suhu perairan secara vertikal, hal ini menyebabkan terjadinya stratifikasi perairan. Stratifikasi perairan dapat dikelompok ke dalam 3 lapisan perairan, yakni: epilimnion, metalimnion, dan hypolimnion.

Kemampuan cahaya matahari dalam menembus perairan menyebabkan tingkat produktivitas lingkungan perairan budidaya. Produktivitas perairan yang tinggi menyebabkan kawasan tersebut menjadi sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai lahan budidaya laut.

Budidaya laut dikenal dengan istilah marikultur. Kegiatan marikultur merupakan kegiatan yang memberikan dampak ekonomi dengan memanfaatkan sumber daya alam khususnya laut melalui kegiatan budidaya. Kegiatan budidaya laut menitikberatkan pada lokasi budidaya. Lokasi budidaya laut harus memenuhi syarat-syarat minimum yakni terlindungi. Lokasi terlindungi tidak hanya terlindungi dari segi keamanan, melainkan terlindungi terhadap aksesibilitas, legalitas, oseanografi, kualitas air, ekologi, sosial, ekonomi, dan budaya.

Lokasi budidaya laut harus sesuai dengan persyaratan-persyaratan lingkungan budidaya. Kesesuaian lingkungan budidaya adalah kecocokan suatu lingkungan untuk pemanfaatan tertentu melalui penentuan nilai dari lingkungan tersebut yang dikaitkan dengan potensi wilayah, sehingga dapat dilakukan pemanfaatan lingkungan secara terarah. Penilaian kesesuaian lingkungan dilakukan secara sistematis dari lingkungan tersebut dengan mengolompokkan kedalam kategori tertentu berdasarkan persamaan sifat atau kualitas lingkungan dalam pemanfaatan tertentu (Azis, 2011). Proses penilaian lingkungan budidaya dilakukan dengan membandingkan kualitas lingkungan dengan syarat-syarat penggunaan lingkungan ekosistem untuk kegiatan tertentu. Proses penilaian kesesuaian lingkungan budidaya dimulai dengan pemilihan lokasi yang sesuai, terutama kesesuaian secara ekologi dan sosial ekonomi.

B. Budidaya Ramah Lingkungan

Kegiatan budidaya harus dilakukan pada suatu wilayah yang cocok sebagai wadah atau lokasi budidaya. Perairan yang cocok merupakan perairan yang memenuhi kriteria lingkungan seperti kesesuaian lahan untuk budidaya masing-masing organisme budidaya. Kriteria lingkungan budidaya terdiri dari 3 faktor, yakni: faktor fisika, kimia, dan biologi. Kegiatan budidaya yang dilakukan merupakan kegiatan yang budidaya ramah lingkungan. Kegiatan budidaya ramah lingkungan adalah kegiatan yang memanfaatkan sumber daya lahan yang lestari dan dimanfaatkan secara optimal. Kegiatan budidaya yang optimal dapat dievaluasi berdasarkan identifikasi kegiatan budidaya perikanan yang dilakukan, karakteristik dan pemetaan sumber daya kemudian disimpulkan apakah kegiatan tersebut memberikan perubahan atau tidak terhadap sumberdaya seperti topografi lahan, dasar perairan dan pencemaran perairan.

Kegiatan budidaya yang ramah lingkungan ditandai dengan kegiatan yang berhasil dan berdaya guna. Keberhasilan dan daya guna kegiatan budidaya ditentukan berdasarkan kondisi perairan, jenis komoditas budidaya, metode budidaya yang digunakan dan ketersediaan pasar. Selain itu kegiatan budidaya ramah lingkungan harus memperhatikan faktor resiko dengan cara mengevaluasi semua faktor yang dapat memberikan dampak pada lingkungan. Evaluasi kegiatan budidaya dimulai dengan memperhatikan sistem budidaya. Sistem budidaya memberikan dampak cukup besar pada lingkungan perairan. Sistem

budidaya yang tidak ramah lingkungan menjadi ancaman tersendiri untuk kegiatan budidaya yang berkelanjutan.

Keberlanjutan budidaya ditentukan oleh sistem budidaya yang ramah lingkungan. Budidaya ramah lingkungan harus memperhatikan beberapa unsur seperti keberadaan kondisi ekologi tambak, keberadaan plankton, penambahan pakan dan penyebaran penyakit oleh *carier* (pembawa) patogen. Ekologi tambak merupakan karakteristik lingkungan tambak untuk kegiatan budidaya, karakteristik lingkungan termasuk keberadaan plankton diperairan yang merupakan tingkat produktivitas perairan. Selain produktivitas primer, kegiatan budidaya dipengaruhi juga oleh penggunaan pakan, baik pakan komersial maupun pakan rucah serta mengidentifikasi indikator resiko penyakit yang dapat ditimbulkan oleh lingkungan.

Kegiatan budidaya dapat berkelanjutan dengan menerapkan sistem biosekuriti untuk meminimalisir dampak yang merugikan terhadap kegiatan budidaya. Biosekuriti merupakan suatu perangkat, aturan, perlengkapan atau peralatan yang sangat penting untuk melakukan pencegahan, pengendalian dan pemberantasan gangguan pada kegiatan budidaya perikanan. Penerapan biosekuriti sangat penting karena meminimalisir gangguan pada kegiatan budidaya seperti serangan hama dan penyakit organisme budidaya. Prinsip utama dalam penerapan biosekuriti adalah pemahaman terhadap identifikasi bahaya, nilai resiko yang ditimbulkan dan langkah-langkah prioritas pengendalian.

Biosekuriti bermanfaat untuk memperkecil resiko organisme yang dibudidayakan terserang penyakit, mendeteksi secara dini adanya wabah penyakit, menekan kerugian yang lebih besar apabila terjadi kasus wabah penyakit, efisiensi waktu, pakan dan tenaga serta menjamin kualitas organisme budidaya. Biosekuriti penting untuk diterapkan karena terdapat bakteri patogen dan bakteri yang merugikan pada lingkungan perairan, kondisi lingkungan perairan terus berubah, keamanan pangan terhadap hasil produksi dan mencegah kerugian secara ekonomi akibat kegagalan panen.

C. Sistem Budidaya dan Kendalanya

Perairan merupakan potensi ekonomi yang cukup tinggi apabila dimanfaatkan secara bertanggung jawab. Salah satu potensi ekonomi perairan adalah pemanfaatan jasa-jasa lingkungan untuk kegiatan budidaya. Kegiatan budidaya yang bertanggung jawab didukung dengan pengelolaan lingkungan yang sesuai. Pengelolaan yang sesuai harus memperhatikan tata ruang perairan dan daya dukung perairan. Tata ruang perairan berkaitan dengan lokasi budidaya, lokasi budidaya harus memenuhi kriteria lingkungan baik kualitas air dan faktor pembatasan. Sedangkan daya dukung perairan merupakan tingkat produksi budidaya maksimum yang dapat dihasilkan dari perairan tersebut secara berkelanjutan.

Pengelolaan kegiatan budidaya terkendala oleh sistem dan teknologi budidaya yang diterapkan pada lokasi budidaya. Budidaya intensif bertujuan meningkatkan produksi, tetapi

dapat mencemari lingkungan terutama terkait dengan penumpukan limbah dan feses serta pakan yang terbuang dan tidak dimanfaatkan. Penumpukan limbah pada lingkungan perairan mempengaruhi produktivitas perairan dan mempengaruhi karakteristik biotik dan abiotik. Limbah budidaya yang dihasilkan memiliki kandungan unsur hara yang merangsang pertumbuhan fitoplankton (algae) pada kondisi yang tidak berlebihan. Kondisi unsur hara yang tidak berlebihan menyebabkan produktivitas perairan meningkat, sebaliknya pada keadaan yang berlebihan akan menurunkan kualitas perairan dan dalam keadaan ekstrim akan menimbulkan kematian organisme budidaya serta menimbulkan penyakit.

Kegiatan dan teknologi budidaya yang digunakan harus dapat diakomodir oleh lingkungan perairan, hal tersebut akan berpengaruh terhadap beban lingkungan akibat kegiatan lingkungan yang dilaksanakan serta masalah yang ditimbulkan. Secara umum, teknologi budidaya yang digunakan dapat dikelompokkan menjadi 4, yakni: teknologi sederhana, teknologi semi intensif, intensif dan super intensif. Perbedaan teknologi yang digunakan berpengaruh pada perbedaan konstruksi, padat tebar dan perlakuan dalam kegiatan budidaya. Penggunaan teknologi yang berbeda memberikan kontribusi masing-masing terhadap masalah lingkungan ekosistem perairan.

Masalah lingkungan merupakan kendala utama dalam keberhasilan kegiatan budidaya. Oleh sebab itu diperlukan upaya pemecahan untuk mengatasi permasalahan tersebut melalui upaya menyeimbangkan antara produksi bahan buangan dan kapasitas asimilasi pada lingkungan budidaya dengan system tertentu. Selain itu menerapkan budidaya dengan pergantian air (*zero water exchange*) melalui penumbuhan bakteri heterotrofik menggunakan bahan karbon. Bakteri heterotrofik dapat memanfaatkan nitrogen yang berasal dari sisa pakan yang hancur dalam partikel-partikel kotoran, sedangkan penambahan bahan karbon dapat mengurangi nitrogen anorganik secara simultan, memproduksi sel tunggal untuk organisme budidaya, mengurangi biaya pakan dan pemompaan serta sebagai sumber materi karbon yang digunakan dalam kolam budidaya.

Penyakit muncul karena kondisi yang tidak seimbang antara lingkungan, pathogen dan inang. Lingkungan yang buruk dapat menyebabkan adanya mikroorganisme berbahaya atau sumber penyakit seperti bakteri, jamur dan parasite yang berdampak buruk pada keberhasilan budidaya. Selain itu, lingkungan yang buruk menyebabkan eutrofikasi blooming algae, kandungan bahan organik tersuspensi, tingginya *Biological Oxygen Demand* (BOD), rendahnya oksigen terlarut, tinggi nya bahan kimia seperti H_2S (*hydrogen sulfide*) dan residu kimia yang potensial resistensi mikroorganisme pathogen yang membahayakan inang.

Limbah budidaya adalah hasil buangan dari kegiatan budidaya. Hasil buangan dari limbah kegiatan budidaya terdiri dari akumulasi pakan, feses, plankton yang telah mati maupun partikel terlarut dan tersuspensi. Limbah budidaya dapat memberikan dampak pencemaran pada lingkungan dan ekosistem perairan apabila tidak di kelola dengan baik. Pengelolaan limbah budidaya dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satu nya adalah

melalui teknik pengelolaan seperti Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL). IPAL berfungsi untuk mereduksi nilai cemaran limbah sebelum di buang ke perairan umum dan menimbulkan pencemaran perairan yang merusak ekosistem perairan. Secara umum, limbah budidaya yang terdapat diperaian dapat berbentuk padatan yang terendap, koloid, tersuspensi dan terlarut. Limbah di perairan dapat dikelompokkan kedalam 2 jenis, yakni: limbah organik dan limbah anorganik.

1. Limbah Organik

Limbah organik menyebabkan pengkayaan nutrien dan mempengaruhi tingkat kesuburan perairan (*eutrofikasi*) dan kelayakan kualitas air bagi kehidupan ikan budidaya. Penurunan kualitas lingkungan perairan akibat pengaruh limbah budidaya dapat terjadi akumulasi senyawa organik sisa pakan dan feses di dasar perairan yang bersifat metabolistik seperti ammonia, nitrat dan fosfat. Limbah organik selalu melibatkan unsur karbon dan kemudian bereaksi dengan senyawa-senyawa lainnya yang ada di perairan.

Daur ulang fosfat merupakan interaksi yang terjadi antara senyawa organik dan anorganik, tumbuh-tumbuhan dan hewan, antara kolom air dan permukaan serta substrat. Misalnya, beberapa hewan membebaskan sejumlah besar fosfat terlarut dalam kotorannya. Fosfat ini kemudian terlarut dalam air sehingga tersedia bagi tumbuh-tumbuhan. Sebagian senyawa fosfat anorganik mengendap sebagai mineral ke dasar laut.

Nitrogen di perairan sebagian besar dalam bentuk ion nitrit dan ion nitrat, maka dengan bantuan bakteri yang mempunyai kemampuan mengubah nitrit menjadi nitrat kemudian menjadi amonia melalui proses reduksi, sehingga proses asimilasi amonia oleh tanaman akuatik dapat berlangsung. Nitrat dan nitrit terlebih dahulu direduksi sebelum digunakan oleh sel-sel alga. Nitrat merupakan bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrien bagi pertumbuhan rumput laut. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan.

2. Limbah Anorganik

Limbah anorganik yang sering dijumpai di perairan adalah kandungan logam. Pencemaran logam berat terhadap lingkungan perairan terjadi karena adanya suatu proses yang erat hubungannya dengan penggunaan logam tersebut dalam kegiatan manusia dan secara sengaja maupun tidak sengaja membuang berbagai jenis limbah beracun termasuk di dalamnya terkandung logam berat ke dalam lingkungan perairan. Sumber utama pemasukan logam berat berasal dari kegiatan pertambangan, cairan limbah rumah tangga, limbah dan buangan industri serta limbah pertanian. Secara alamiah, logam berat juga masuk ke dalam perairan dapat digolongkan sebagai: (1) pasokan dan daerah pantai, yang meliputi masukan dari sungai-sungai dan erosi yang disebabkan oleh gerakan gelombang dan *glacier*, (2) pasokan dari laut dalam, yang meliputi logam-logam yang dilepaskan gunung berapi di laut dalam dan dari partikel atau endapan oleh adanya proses kimiawi, dan (3) pasokan yang

melampaui lingkungan dekat pantai yang meliputi logam yang diangkut ke dalam atmosfer sebagai partikel-partikel debu atau sebagai aerosol dan juga bahan yang dihasilkan oleh erosi gletser di daerah kutub dan diangkut oleh gumpalan-gumpalan es yang mengambang.

Logam berat termasuk sebagai zat pencemar karena sifatnya yang tidak dapat diuraikan secara biologis dan stabil, sehingga dapat tersebar jauh dari tempatnya. Logam berat di perairan tidak dihancurkan oleh mikroorganisme yang hidup di lingkungan dan terakumulasi dalam komponen-komponen lingkungan, terutama air dengan membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik secara adsorpsi dan kombinasi.

BAB V

MANAJEMEN LINGKUNGAN PERAIRAN

Manajemen lingkungan perairan merupakan program monitoring dan pengendalian yang meliputi ruang lingkup pengawasan, pembinaan dan pengambilan sampel air atau perairan sebagai dampak dari berbagai kegiatan produksi yang menghasilkan limbah (domestik, pertanian, industri, dan pertambangan). Kegiatan manajemen lingkungan perairan bertujuan untuk mengidentifikasi sumber-sumber bahan pencemar yang berada di perairan. Bab ini membahas tentang ruang lingkup pengelolaan lingkungan perairan, pentingnya pengelolaan lingkungan perairan, metode pengelolaan lingkungan dan peran riset dalam pengelolaan lingkungan.

A. Ruang Lingkup Pengelolaan Lingkungan Perairan

Lingkungan perairan merupakan tempat akumulasi dan daerah terdampak dari berbagai macam limbah akibat dari aktivitas manusia. Perairan memiliki kapasitas terima atau batas maksimal (*receiving capacity*) limbah yang masuk kedalam ekosistem perairan (Mustafa, 2020). Konsentrasi limbah yang masuk kedalam ekosistem perairan dalam jumlah banyak dapat mencemari lingkungan dan mengganggu keseimbangan lingkungan serta mengkontaminasi organisme perairan. Kontaminasi limbah atau bahan pencemar terhadap organisme perairan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: faktor biotik, ketersediaan senyawa pencemar dalam biotop, kemampuan organisme dalam mempertahankan atau mentolerir bahan pencemar (Hertika dan Putra, 2019)

Paparan bahan pencemar merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan terjadinya kerusakan ekosistem perairan (Muliari *et al.*, 2019). Paparan bahan pencemar mengindikasikan perairan menjadi tercemar. Lingkungan perairan yang tercemar merupakan kondisi yang menunjukkan perubahan mutu air. Perubahan mutu air terjadi secara fisika, kimia, dan biologi. Mustofa (2020) menjelaskan perubahan mutu air secara fisika dipengaruhi oleh zat-zat yang berwujud padat, cair dan gas. Perubahan mutu secara kimia dipengaruhi oleh masuknya zat-zat kimia ke dalam air, sedangkan perubahan mutu air secara biologi dipengaruhi oleh organisme baik mikro maupun makro yang masuk kedalam air. Perubahan mutu air merupakan respon lingkungan terhadap kondisi mutu perairan.

Perubahan mutu air memiliki pengaruh serius terhadap kelangsungan hidup organisme perairan yang terdapat di dalam ekosistem serta dapat menghambat berbagai aktivitas produksi seperti budidaya perikanan. Budidaya perikanan merupakan kegiatan atau usaha pemeliharaan dan pengembangbiakan ikan atau organisme lainnya (Mulyono dan Ritonga, 2019). Mutu air untuk kegiatan budidaya merupakan kondisi yang harus dikendalikan karena merupakan faktor utama dalam pengelolaan lingkungan perairan.

Pengelolaan lingkungan perairan merupakan bagian dari pengelolaan lingkungan hidup secara keseluruhan. Lingkungan hidup menggunakan pendekatan ekosistem dalam pengelolaannya. Ekosistem merupakan bagian lingkungan yang didalamnya terdapat makhluk hidup dan tak hidup (Roziaty *et al.*, 2017). Lingkungan perlu dikelola dengan baik untuk menciptakan keseimbangan di dalam ekosistem, tidak terkecuali untuk pengelolaan lingkungan perairan.

Ruang lingkup pengelolaan lingkungan perairan mengacu pada Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Lingkungan hidup merupakan daerah yang rentan mengalami degradasi karena berbagai faktor lingkungan. Salah satu indikator terjadinya degradasi lingkungan dapat dilihat dari perubahan lingkungan perairan.

Lingkungan perairan memiliki peran strategis dalam menentukan kelangsungan hidup maka perubahan atau penurunan kualitas lingkungan perairan menjadi perhatian serius (Rahman, 2013). Pengelolaan lingkungan perairan telah diatur dalam Undang-Undang Nomor 11 Tahun 1974 tentang Pengairan dan Undang-Undang Nomor 7 tahun 2004 tentang Sumberdaya Air. Secara umum, ruang lingkup pengelolaan lingkungan hidup meliputi: perencanaan, pemanfaatan, pengendalian, pemeliharaan, pengawasan dan penegakan hukum.

B. Tujuan Pengelolaan Lingkungan Perairan

Lingkungan perairan merupakan tempat terjadinya interaksi antara komponen biotik dan abiotik perairan. Air memiliki peranan yang penting bagi makhluk perairan. Air berfungsi sebagai media internal dan eksternal bagi makhluk perairan. Mustofa (2020) menjelaskan fungsi media internal air sebagai bahan baku untuk reaksi-reaksi metabolisme dalam tubuh, pengangkut sari makanan keseluruh tubuh serta pengatur dan penyangga suhu tubuh, sedangkan fungsi media eksternal air sebagai habitat untuk makhluk perairan. Lebih lanjut Kholif (2020), menjelaskan air memiliki peran penting dalam kesejahteraan individu, masyarakat dan ekonomi sekitarnya.

Fungsi air yang penting menyebabkan air menjadi rentan terkontaminasi oleh bahan-bahan pencemar yang dapat mempengaruhi kuantitas dan kualitas air. Oleh sebab itu, diperlukan pengelolaan lingkungan perairan yang tepat dan baik agar sesuai dengan peruntukannya dengan cara melakukan pemantauan kualitas air yang bertujuan untuk mengetahui nilai kualitas air dalam bentuk parameter fisika, kimia dan biologi serta membandingkan nilai kualitas air dengan baku mutu sesuai dengan peruntukannya (Mustofa, 2020).

Pemantauan nilai kualitas air dapat dilihat berdasarkan parameter-parameter indikator perubah nilai kualitas air. Indikator perubah nilai kualitas air terdiri dari: indikator parameter fisika (suhu, warna, bau, rasa dan kekeruhan), kimia (pH, *Biological Oxygen*

Demand dan *Chemical Oxygen Demand*) dan biologi (nutrien pokok, lingkungan hidup, keberadaan sinar matahari, dan plankton). Pemantauan kualitas air menggunakan pendekatan parameter kualitas air merupakan salah satu bentuk pengelolaan lingkungan perairan yang bertujuan untuk melakukan kegiatan pengelolaan lingkungan hidup.

Secara umum, tujuan pengelolaan lingkungan hidup menurut Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup antara lain:

1. Melindungi wilayah melindungi wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia dari pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup;
2. Menjamin keselamatan, kesehatan, dan kehidupan manusia;
3. Menjamin kelangsungan kehidupan makhluk hidup dan kelestarian ekosistem;
4. Menjaga kelestarian fungsi lingkungan hidup;
5. Mencapai keserasian, keselarasan, dan keseimbangan lingkungan hidup;
6. Menjamin terpenuhinya keadilan generasi masa kini dan generasi masa depan;
7. Menjamin pemenuhan dan perlindungan hak atas lingkungan hidup sebagai bagian dari hak asasi manusia;
8. Mengendalikan pemanfaatan sumber daya alam secara bijaksana;
9. Mewujudkan pembangunan berkelanjutan; dan
10. Mengantisipasi isu lingkungan global.

C. Metode Pengelolaan Lingkungan Perairan

Pengelolaan lingkungan perairan merupakan kegiatan yang saling berhubungan antara ketersediaan sumberdaya lingkungan, penggunaan sumberdaya lingkungan dan dampak dari kegiatan yang dilakukan. Kegiatan yang dilakukan harus memperhatikan dampak pada lingkungan terutama lingkungan perairan. Lingkungan perairan menjadi rentan terhadap dampak oleh berbagai aktivitas yang menyebabkan pencemaran perairan. Maka, diperlukan upaya pengelolaan lingkungan perairan melalui metode-metode tertentu untuk mengatasi masalah pencemaran perairan. Menurut Manik (2018), metode pengelolaan lingkungan perairan dapat dikelompokkan menjadi tiga pendekatan, yakni: pendekatan sosial ekonomi, pendekatan kelembagaan dan pendekatan teknologi.

1. Pendekatan Sosial Ekonomi

Pendekatan social ekonomi merupakan pendekatan terhadap lingkungan perairan yang menyediakan barang dan jasa secara langsung maupun tidak langsung untuk mendapatkan manfaat ekonomi (Parmawati, 2019). Lebih lanjut Danhas dan Muchtar (2021) menyatakan ekonomi merupakan bagian dari perilaku manusia dalam memilih dan menciptakan kemakmuran yang menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan antara kebutuhan manusia yang tidak terbatas dengan alat pemuas kebutuhan yang terbatas. Konsep tersebut menjelaskan tentang lingkungan perairan sebagai sumberdaya yang dapat dimanfaatkan dan dieksploitasi yang berdampak pada kerusakan lingkungan perairan. Maka,

diperlukan upaya pengelolaan lingkungan perairan melalui pendekatan social ekonomi guna menyeimbangkan kepentingan lingkungan, sosial dan ekonomi.

Pendekatan sosial ekonomi dapat dilakukan pada berbagai tahapan kegiatan yang memanfaatkan lingkungan perairan. Pendekatan sosial ekonomi dimulai dari tahap prakonstruksi, konstruksi dan tahap prakonstruksi. Sedangkan menurut Manik (2018) masalah pokok ekonomi dikelompokkan menjadi tiga, yakni: masalah produksi, masalah distribusi dan masalah konsumsi.

Secara umum pendekatan sosial ekonomi terkait pengelolaan lingkungan tergantung pada upaya pemrakarsa. Upaya pemraksa yang dapat dilakukan adalah menerapkan konsep ekonomi lingkungan. Menurut Danhas dan Muchtar (2021) konsep ekonomi lingkungan terdiri dari 3 hal, yakni: konsep keseimbangan materi, konsep analisis biaya dan manfaat serta konsep perlindungan lingkungan

2. Pendekatan Kelembagaan

Pendekatan kelembagaan merupakan pendekatan yang bersifat mengatur terkait dengan pengelolaan lingkungan perairan. Pengelolaan lingkungan perairan secara rinci diatur melalui mekanisme regulasi yang dikeluarkan oleh berbagai tingkatan dan *stake holder* (pemangku kepentingan) terkait. Regulasi pengelolaan lingkungan perairan bertujuan untuk memberikan pedoman dalam penggunaan jasa-jasa lingkungan dengan memperhatikan kapasitas lingkungan dan manusia.

Secara kelembagaan, pengelolaan lingkungan perairan telah diatur dalam Undang-Undang Nomor 11 Tahun 1974 tentang Pengairan dan Undang-Undang Nomor 7 tahun 2004 tentang Sumberdaya Air. Secara umum, ruang lingkup pengelolaan lingkungan hidup meliputi: perencanaan, pemanfaatan, pengendalian, pemeliharaan, pengawasan dan penegakan hukum.

3. Pendekatan Teknologi

Penggunaan teknologi dalam upaya pengelolaan lingkungan perairan sudah umum dilakukan terutama terkait dengan teknologi pemantauan lingkungan perairan. Pemantauan lingkungan perairan dapat menggunakan konsep teknologi biomonitoring, bioindikator, biokumulasi dan biomarker menggunakan berbagai jenis mahluk hidup. Biomonitoring merupakan respon mahluk hidup terhadap laju pencemaran perairan. Mahluk hidup menjadi indikator pemantauan lingkungan secara biologi menggunakan organisme perairan dan tumbuhan air, hal ini disebut sebagai bioindikator (Husamah dan Rahardjanto, 2019). Organisme dan tumbuhan perairan dapat menyerap kandungan berbagai bahan pencemar yang berada di dalam ekosistem perairan.

Kandungan bahan organik yang terserap pada organisme dan tumbuhan air akan terakumulasi pada jaringan tubuh dan organ-organ organisme perairan, hal ini disebut dengan bioakumulasi. Bioakumulasi merupakan gambaran akumulasi kontaminan bahan pencemar yang ada di lingkungan oleh organisme perairan (Hertika dan Putra, 2019). Secara

spesifik, bioakumulasi dapat dikategorikan menjadi dua proses, yakni: biokonsentrasi dan biomagnifikasi.

Biokonsentrasi merupakan hubungan langsung antara bahan pencemar dan organisme perairan, sedangkan biomagnifikasi merupakan penyerapan bahan pencemar dalam proses transfer makanan yang terjadi dalam struktur trofik. Lebih lanjut Borga (2013) menjelaskan dalam jaring makanan, organisme menunjukkan bioakumulasi yang sangat berbeda dari berbagai bahan pencemar (bahan kimia), baik dalam kadar maupun dalam komposisi yang relatif (Borga, 2013).

Konsentrasi bahan pencemar yang terdapat dalam jaringan tubuh dan organ organisme perairan menunjukkan tingkat konsentrasi bahan pencemaran pada lingkungan perairan tersebut. Konsentrasi bahan pencemar yang tinggi dapat mengganggu keseimbangan ekosistem, oleh sebab itu perlu dilakukan upaya untuk meminimalisir dampak bahan pencemar tersebut. Salah satu upaya untuk meminimalisir bahan pencemar tersebut adalah dengan menggunakan metode biodegradasi dan bioremediasi. Biodegradasi adalah proses penguraian dari bahan yang kompleks menjadi bahan yang sederhana menggunakan mikroorganisme, sedangkan bioremediasi adalah upaya untuk mereduksi bahan pencemar yang terdapat dalam perairan menggunakan mikroorganisme.

Pencemaran yang umum ditemukan di perairan adalah pencemaran logam berat. Kandungan logam berat yang terakumulasi dalam tubuh organisme perairan merupakan biokumulasi dari penyerapan bahan pencemaran khususnya pencemaran logam berat. Pencemaran logam berat pada suatu perairan sangat berbahaya pada organisme perairan, logam berat dalam konsentrasi kecil tidak terlalu berbahaya pada organisme perairan tetapi konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan toksik pada organisme perairan.

Secara umum, beberapa jenis organisme perairan yang dapat digunakan untuk memantau masuknya bahan pencemar ke dalam lingkungan perairan antara lain: ikan, eceng gondok, kerang darah dan tiram.

a. Ikan

Masuknya bahan pencemar terutama logam berat ke dalam lingkungan perairan akan berdampak pada menurunnya kualitas lingkungan perairan (Zhang *et al.* 2009). Keberadaan logam berat yang menumpuk pada air laut dan sedimen akan masuk ke dalam sistem rantai makanan dan berpengaruh pada kehidupan organisme di dalamnya (Hutagalung 1984). Logam berat pada konsentrasi tertentu dalam perairan akan terakumulasi ke dalam sedimen dan pada organisme perairan (Wulandari *et al.* 2012). Kontaminasi logam berat Hg dan Pb pada organisme perairan dapat berdampak toksik terhadap kesehatan organisme tersebut (Darmono 2001). Ikan dapat menjadi salah satu indikator pencemaran lingkungan dari limbah kimia, termasuk logam berat pada lingkungan perairan. Hal ini karena ikan merupakan organisme perairan yang siklus hidupnya lebih lama

dibanding organisme akuatik lainnya dan menempati peringkat teratas dalam rantai makanan akuatik (Farkas *et al.* 2001), serta ikan dapat mengakumulasi logam berat.

Keberadaan logam berat Hg dan Pb dalam perairan pada konsentrasi yang telah melebihi baku mutu, dapat berdampak pada organisme perairan baik secara langsung maupun tidak langsung. Baku mutu Hg dan Pb pada air laut diatur dalam KepMen LH No. 51/2004 yakni 0,001 mg/l untuk Hg dan 0,008 mg/l untuk Pb (KLH 2004). Dampak yang ditimbulkan dapat berupa gangguan kesehatan, kecacatan, bahkan dapat menimbulkan kematian biota air, hal ini diduga karena logam Hg dan Pb merupakan logam berat yang bersifat toksik dan karsogenik (Darmono 2001). Keberadaan logam Hg dan Pb dalam perairan harus terus dipantau dan ditanggulangi sebelum berdampak lebih serius.

Baku mutu logam Hg dan Pb dalam tubuh ikan diatur sesuai SNI 7387:2009 tentang Batas Maksimum Cemar Logam Berat Dalam Bahan Pangan (ikan) yakni 0,5 mg/kg untuk Hg dan 0,3 mg/kg untuk Pb. Konsentrasi logam Hg dan Pb dalam organ insang, hati dan limpa dapat menghambat sistem kerja atau fungsi dari organ tersebut. Pada ikan limpa berfungsi sebagai organ imunitas, insang merupakan organ pernapasan yang memiliki kontak langsung dengan air sehingga mudah terkontaminasi logam berat. Hati merupakan organ yang berfungsi sebagai pendetoksifikasi zat-zat toksik yang masuk ke dalam tubuh ikan.

b. Enceng Gondok

Neuston merupakan organisme perairan baik itu hewan maupun tumbuhan yang hidup di permukaan, salah satu jenis perfiton adalah enceng gondok. Enceng gondok (*Eichhornia crassipes* Solms) merupakan salah satu tanaman yang mempunyai kemampuan sebagai biofilter. Dengan adanya mikrobia rhizosfera pada akar dan didukung oleh daya absorpsi serta akumulasi yang besar terhadap bahan pencemar tertentu, maka dapat dimanfaatkan sebagai alternatif pengendali pencemaran di perairan. Enceng gondok merupakan tumbuhan *Emergent* yaitu tumbuhan yang akan mengapung jika terdapat arus dan akan menancapkan akarnya jika perairannya dangkal. Enceng gondok dapat dijadikan sebagai bioindikator pencemaran air karena kemampuannya dalam mengakumulasi logam berat dalam tubuhnya (bioakumulator). Kemampuan enceng gondok ini karena pada akarnya terdapat mikrobia rhizosfera yang mengakumulasi logam berat.

Bahan-bahan organik maupun anorganik termasuk logam berat khususnya logam Cu yang terlarut di dalam air dapat direduksi oleh mikrobia rhizosfera yang terdapat pada akar enceng gondok dengan cara menyerap dari perairan dan sedimen kemudian mengakumulasikan bahan terlarut ke dalam struktur tubuhnya. Akan tetapi jika keberadaan enceng gondok sudah melebihi ambang batas yang dapat ditoleransi oleh lingkungan perairan, maka justru akan mencemari lingkungan tersebut. Konsentrasi logam Cu terlarut yang mencapai 0,01 ppm akan menyebabkan kematian bagi fitoplankton. Dalam tenggang

waktu 96 jam biota yang tergolong dalam Mollusca akan mengalami kematian bila logam Cu yang terlarut dalam badan air berada pada kisaran 0,16 sampai 0,5 ppm.

c. Kerang Darah

Kerang darah (*Anadara granosa*) merupakan organisme penghuni dasar perairan, Kerang darah merupakan organisme yang bersifat *filter feeder* dalam memperoleh makanan dan hidupnya menetap (*sessil*) relatif lama di habitatnya. Di samping itu biota ini mempunyai toleransi yang besar terhadap perubahan lingkungan serta mampu bertahan hidup meskipun mengakumulasi polutan logam berat sehingga biota ini digunakan sebagai bioindikator pencemaran logam berat yang terjadi di lingkungan perairan. Akumulasi Chromium dapat menyebabkan kerusakan terhadap organ respirasi, dan dapat juga menyebabkan timbulnya kanker pada manusia.

d. Tiram

Tiram *S. glomerata* termasuk spesies macrofauna benthic. Tiram merupakan salah satu bioindikator terbaik untuk mengetahui tingkat kontaminasi logam berat di suatu daerah. Tiram *S. glomerata* merupakan biota yang potensial terkontaminasi logam berat, karena sifatnya yang *filter feeder* atau menyerap makanannya termasuk kontaminan logam berat sehingga biota ini sering digunakan sebagai hewan uji dalam pemantauan tingkat akumulasi logam berat pada organisme laut. Organisme yang hidup *sedentary* atau menetap, tidak bisa menghindar dari kontaminan dan mempunyai toleransi yang tinggi terhadap konsentrasi logam tertentu sehingga dapat mengakumulasi logam lebih besar dari hewan lainnya.

D. Peran Penelitian dalam Pengelolaan Lingkungan Perairan

Lingkungan perairan merupakan tempat hidup berbagai organisme perairan dan sekaligus menjadi tempat penampungan limbah hasil dari berbagai aktivitas manusia (Sumampouw dan Risjani, 2018). Peran lingkungan perairan yang begitu penting diperlukan upaya pengelolaan dan keterlibatan berbagai pihak. Keterlibatan berbagai pihak dalam pengelolaan lingkungan perairan merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari manajemen lingkungan perairan.

Manajemen lingkungan perairan harus melibatkan berbagai unsur secara bersama-sama guna terciptanya pengelolaan lingkungan perairan yang baik. Peran serta akademisi sangat dibutuhkan dalam pengelolaan lingkungan perairan. Beberapa penelitian terkait dengan kajian kualitas air dan pencemaran perairan, kasus-kasus pencemaran perairan, dampak pencemaran perairan serta sistem dan upaya pengendalian pencemaran perairan.

Kajian kualitas dan pencemaran sudah sering dilakukan di berbagai tempat di Indonesia seperti: kajian kualitas air sungai krukut Jakarta selatan (Yohannes *et al.*, 2019), kajian kualitas air sungai Ngringo Karangnyar (Yuliasuti, 2011) dan kajian sistem pengendalian pencemaran air sungai Cisadane Kota Tangerang (Dawud, 2016). Selain itu

banyak dilakukan juga kajian terkait dampak pencemaran perairan terutama dampak sosial, ekonomi, lingkungan dan Kesehatan.

Pencemaran lingkungan perairan memberikan dampak pada berbagai aspek kehidupan. Pencemaran perairan mempengaruhi kondisi sosial ekonomi masyarakat serta gangguan kesehatan masyarakat di sekitar area pencemaran. Pencemaran perairan juga mempengaruhi kondisi fisik lingkungan seperti terjadinya perubahan kualitas air sungai menjadi keruh, berbau, berwarna dan berbuih (Ummi dan Akliyah, 2016). Pencemaran perairan dilaporkan berdampak pada menurunnya produktivitas perikanan serta terkontaminasinya bahan makanan yang bersumber dari perairan tersebut (Batu, 2017). Dampak pencemaran yang begitu luas harus dapat dikelola dengan baik melalui upaya pengendalian pencemaran lingkungan.

Upaya pengendalian pencemaran merupakan upaya mengurangi kandungan bahan pencemar yang masuk ke dalam perairan yang berakibat pada rusaknya ekosistem perairan. Menurut Machdar (2018), upaya pengendalian pencemaran dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti pengolahan limbah cair, pengolahan sekunder, *secondary clarifier* dan pengolahan lanjut.

1. Pengolahan limbah cair dapat dilakukan dengan tiga tahapan pengolahan, yakni: tahap pengolahan awal atau *pre-treatment* (*screening*, Grit Channel, flotasi dan ekualisasi), *primary treatment* (unjuk kerja *primary sedimentation* dengan bahan kimia) dan *secondary treatment* (oksidasi biologi, pertumbuhan bakteri, pengendapan lumpur serta nitrifikasi dan denitrifikasi)
2. Pengolahan sekunder dapat dilakukan dengan beberapa cara, yakni: sistem lumpur aktif, Sistem *attached growth* (bakteri tertambat) dan penyisihan nutrient.
3. *Secondary Clarifier* dan pengolahan lanjut merupakan tahapan lanjutan yang menggunakan media filtrasi granular, penggunaan karbon aktif dan pengurangan ammonia melalui *air stripping* serta desinfeksi air limbah.

BAB VI PENUTUP

Ekologi perairan merupakan ilmu yang mempelajari lingkungan atau tempat hidup organisme-organisme perairan yang membentuk hubungan atau interaksi yang terjadi di dalam perairan. Air memiliki fungsi fundamental sebagai medium tempat hidup dan berlangsungnya hubungan timbal balik antara komponen biotik dan abiotik yang terjadi di dalam ekosistem perairan. Ekosistem perairan merupakan tempat interaksi yang kompleks antara berbagai kehidupan biotik dan abiotik. Proses interaksi dipengaruhi oleh karakteristik ekosistem perairan.

Interaksi yang terjadi di dalam ekosistem sangat penting untuk dikaji karena merupakan penanda terjadinya perubahan lingkungan perairan yang disebabkan oleh berbagai tekanan lingkungan seperti pencemaran perairan. Pencemaran perairan merupakan kondisi yang telah berubah dari bentuk asal pada keadaan buruk yang disebabkan oleh bahan polutan yang bersifat racun bagi lingkungan perairan

Dengan mempelajari buku ini diharapkan dapat memberikan pemahaman terkait dengan ilmu-ilmu lingkungan terutama prinsip dasar ekologi perairan, ekosistem dan organisme perairan, pencemaran ekosistem perairan, lingkungan perairan untuk kegiatan budidaya dan manajemen lingkungan perairan.

DAFTAR PUSTAKA

- Azis, H.Y. 2011. Optimalisasi Pengelolaan Sumberdaya Rumput Laut di Wilayah Pesisir Kabupaten Bantaeng Provinsi Sulawesi Selatan. TESIS. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Badan Standarisasi Nasional. 2009. SNI 7387:2009 Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan. Badan Standarisasi Nasional
- Barus, T.A. 2020. Limnologi. CV. Nas Media Pustaka. Makassar
- Batu, D.F.L.. 2017. Ekotoksikologi Perairan. IPB Press. Bogor
- Bengen, D.G. 2002. Pengelolaan Ekosistem Wilayah Pesisir. Prosiding Pelatihan untuk Pelatih Pengelolaan Wilayah Pesisir Terpadu, Penyunting: DG, Bengen. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan-IPB. Bogor
- Borga, K. 2013. Ecotoxicology: Bioaccumulation. Reference Module in Earth System and Environmental Sciences. Elsevier
- Boyd, C.E. 1990. Water Quality in Ponds for Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama. 482p.
- Dahuri, R., J. Rais, S.P. Ginting dan M.J. Sitepu. 2001. Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu. Jakarta. PT Pradnya Paramita
- Danhas, Y dan B. Muchtar. 2021. Ekonomi Lingkungan. Deepublish. Yogyakarta
- Darmono, 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran: Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Darmono, 2001, Lingkungan Hidup dan Pencemaran : Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam, 139, 142, UI – Press, Jakarta.
- Dawud, M., I. Namara., N. Vhayati., F. Muhammad. 2016. Analisis Sistem Pengendalian Pencemaran Air Sungai Cisadane Kota Tangerang Berbasis Masyarakat. Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2016. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Eckert, W dan A. Nishri. 2014. Phosphorus Cycle. Israel Oceanographic and Limnological Research Institute
- Effendi, R., H. Salsabila dan A. Malik. 2018. Pemahaman tentang lingkungan berkelanjutan. Modul Vol. 18, No. 2, ISSN (P)0853 – 2877 € 2598-327X
- Farkas, R.M., Giansanti, M.G., Bonaccorsi, S., Gatti, M., Fuller, M.T. (2001). Analysis of mechanisms common to cytokinesis and polarized cell growth in the *Drosophila* male germline. *A. Dros. Res. Conf.* 42 : 132
- Firdaus, M.R dan L.A.S. Wijayanti. 2019. Fitoplankton dan siklus karbon global. Oseana, Volume 44. Nomor 2. Hlm 35 - 48
- Hamid, A., Asriyana., E. Prianto., E. Manangkalangi., G.P. Yoga., Haryono., J. Sudarso., M.T. Gundo., M.F Rahardjo dan N.D. Pertamina. 2018. Ekologi Reproduksi dan Pertumbuhan Ikan. IPB Press. Bogor

- Hertika, A.M.S dan R.B.D.S. Putra. 2018. Ekotoksikologi untuk Lingkungan Perairan. UB Press. Malang
- Husamah dan A. Rahardjanto. 2019. Bioindikator (Teori dan Aplikasi dalam Biomonitoring. Universitas Muhammadiyah Malang Press. Malang.
- Hutagalung, H. P., 1984. Logam berat dalam lingkungan laut. Oceania Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Jakarta 9(1), pp. 11-20.
- Indrawati, D. 2011. Upaya Pengendalian Pencemaran Sungai yang diakibatkan oleh Sampah. TJL. Vol. 5, No. 6. Hlm 193 - 200
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut
- Kholif, M.A. 2020. Pengelolaan Air Limbah Domestik. Scopindo Media Pustaka. Surabaya
- Kurniawan, A. 2018. Ekologi Sistem Akuatik Fundamen dalam Pemanfaatan dan Pelestarian Lingkungan Perairan. UB Press
- Latuconsina, H. 2019. Ekologi Perairan Tropis: Prinsip Dasar Pengelolaan Sumberdaya Hayati Perairan. Gajah Mada University Press
- Machdar, I. 2018. Pengantar Pengendalian Pencemaran: Pencemaran Air, Pencemaran Udara dan Kebisingan. Deepublish. Yogyakarta.
- Manik, K.E.S. 2018. Pengelolaan Lingkungan Hidup. Kencana. Jakarta.
- Mitra, A., S. Zaman., P. Pramanick dan A. Roy. A Book for Graduate Students: Overview of Ecosystem. University of Calcutta. India
- Muliari, I. Zulfahmi dan Y. Akmal. 2019. Ekotoksikologi Akuatik. IPB Press. Bogor.
- Mulyono, m dan L.B. Ritonga. 2019. Kamus Akuakultur Budidaya Perikanan. STP Press. Jakarta
- Mustafa, A. 2020. Pengelolaan Kualitas Air untuk Akuakultur. Unisnu Press. Jepara.
- Nybakken, J.W. 1988. Biologi laut suatu pendekatan ekologi. PT. Gramedia. Jakarta
- Odum, E.P. 1993. Dasar-dasar Ekologi. Terjemahan Tjahjono Samingan. Edisi Ketiga. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Palar, H. 1994. Pencemaran dan toksikologi logam berat. Rineka Cipta. Jakarta
- Parmawati, R. 2019. Valuasi Ekonomi Sumberdaya Alam dan Lingkungan Menuju Ekonomi Hijau. UB Press. Malang
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air
- Rahman, M. 2013. Pengelolaan Lingkungan Perairan: Konsep dan Pemananannya dalam Pembangunan. DPP IKmada Kalsel. Kalimantan Selatan.
- Roziaty, E., A.I. Kusumadani., dan I. Aryani. 2017. Biologi Lingkungan. Muhammadiyah University Press. Surakarta.

- Sahabuddin, E.S. 2012. Cemaran Air dan Tercapainya Lingkungan Sumber Daya Alam yang Berkelanjutan. Jurnal Publikasi Pendidikan. Volume 11. No. 2. Hlm. 102 - 111
- Soegianto, A. 2010. Ekologi Perairan Tawar. Airlangga University Press. Surabaya
- Sumampouw, O.J. dan Y. Risjani. Indikator Pencemaran Lingkungan. Deepublish. Yogyakarta
- Susana, T. 2003. Air sebagai sumber kehidupan. Oseana, Volume XXVIII, Nomor 3. Hlm 17-25
- Suyasa, W.B. 2015. Pencemaran Air & Pengolahan Air Limbah. Udayana University Press. Bali
- Tansley, A. 1935). The use and abuse of vegetational concept and terms. Ecology 16, 208 – 307
- Umami, N.S.D dan L.S. Akliyah. 2016. Kajian Dampak Pencemaran Air Limbah Industri Terhadap Kondisi Fisik Lingkungan, Sosial-Ekonomi Masyarakat Kecamatan Rancaekek Kabupaten Bandung. Prosiding Perencanaan Wilayah dan Kota. Volu. 2 No. 2, 167-175
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 1996 tentang Perairan Indonesia. 9 hlm.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumberdaya Air. 110 hlm
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 1974 tentang Pengairan. 15 hlm.
- Wulandari, E., E. Y. Herawati, Dan D. Arfiati. 2012. Kandungan Logam Berat Pb Pada Air Laut Dan Tiram *Saccostrea Glomerata* Sebagai Bioindikator Kualitas Perairan Prigi, Trenggalek, Jawa Timur. Jurnal Penelitian Perikanan 1(1) 10-14, Issn : 2337-621x
- Yohannes, B., S.W. Utomo dan H. Agustina. 2019. Kajian Kualitas Air Sungai dan Upaya Pengendalian Pencemaran Air (Studi di Sungai Krukut, Jakarta Selatan). IJEEM: Indonesian Journal of Environmental Education and Management. Vol. 4 No. 2.
- Yuliana. 2006. Produktivitas Primer Fitoplankton pada Berbagai Periode Cahaya di Perairan Teluk Kao, Kabupaten Halmahera Utara. Jurnal Perikanan (J. Fish. Sci). Vol. VII. No. 2 Hal. 215 - 222
- Yuliasuti, E. 2011. Kajian Kualitas Air Sungai Ngringo Karanganyar dalam Upaya Pengendalian pencemaran Air. TESIS. Universitas Diponegoro. Semarang
- Zhang, M., C. Lijuan, L. Sheng, Y. Wang, 2009. Distribution and enrichment of heavy metals among sediments, water body and plants in Hengshuihu Wetland of Northern China. Ecological engineering 35(4), pp. 563-369.



AMaFRaD  PRESS

Diterbitkan oleh :
AMAFRAD Press
Badan Riset dan Sumber Daya Manusia
Kelautan dan Perikanan
Gedung Mina Bahari III, Lantai 6,
Jl. Medan Merdeka Timur,
Jakarta Pusat 10110
Telp. (021) 3513300 Fax: 3513287
Email : amafradpress@gmail.com
Nomor IKAPI: 501/DKI/2014

ISBN 978-623-6464-01-4



ISBN 978-623-6464-02-1 (PDF)



