

# **EKOLOGI PERAIRAN**

**OLEH**

**IN. Suyasa, M. Nurhudah, Sinung Rahardjo**

**Sekolah Tinggi Perikanan**

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kehadirat Allah SWT. penulis panjatkan karena berkat rahmat-Nya buku Ekologi Perairan Edisi II (Revisi) ini dapat tersusun. Buku ini merupakan kumpulan bahan kuliah dan pengalaman penulis selama mengajar mata kuliah Ekologi Perairan di Sekolah Tinggi Perikanan Jakarta dengan rujukan dari berbagai sumber. Dalam edisi ini terdapat tambahan satu bab yaitu tentang Usaha Perikanan dalam Perspektif Ekologi. Disamping itu, juga terdapat tambahan pada bab-bab yang lain khususnya berkenaan dengan kasus-kasus dalam bidang perikanan baik budidaya maupun penangkapan ikan.

Buku ini diharapkan menjadi bahan bacaan bagi Taruna Sekolah Tinggi Perikanan sehingga mengefektifkan pelaksanaan belajar mengajar mata kuliah Ekologi Perairan. Hal ini didasarkan pada kenyataan bahwa sampai saat ini masih jarang buku (dalam bahasa Indonesia) yang khusus membahas ekologi perairan, sehingga bahan acuannya masih bersumber dari berbagai buku tentang ekologi secara umum.

Bagi Taruna khususnya dan pembaca umumnya, perlu penulis informasikan bahwa di waktu mendatang, buku ini masih memungkinkan untuk di revisi demi penyempurnaan. Hal ini karena ilmu pengetahuan dan teknologi berkembang sangat cepat khususnya di bidang perikanan. Oleh karena itu, masukan dan saran perbaikan akan sangat penulis hargai.

Demikian dan terima kasih. serta semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi Taruna khususnya dan pembaca pada umumnya.

Tim Penulis

# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>BAB I    PENDAHULUAN</b>	
1.1. Pengertian Ekologi .....	1
1.2. Ruang Lingkup dan Pembagian Ekologi .....	2
1.3. Makhluk hidup dan Lingkungannya .....	4
1.3.1. Makhluk hidup .....	4
1.3.2. Lingkungan makhluk hidup .....	8
<b>BAB II    AZAS DAN KONSEP DALAM EKOLOGI</b>	10
2.1. Ekosistem .....	10
2.2. Energi .....	15
2.3. Siklus Hidrologi .....	20
2.4. Siklus Biogeokimia .....	22
2.4.1. Siklus Karbon (C) .....	25
2.4.2. Siklus Nitrogen (N) .....	27
2.4.3. Siklus Sulfur (S) .....	29
2.4.4. Siklus Fosfor (P) .....	31
2.4.5. Siklus Nutrient Lain .....	32
<b>BAB III.    FAKTOR PEMBATAS, KOMUNITAS DAN PERKEMBANGAN EKOSISTEM</b>	33
3.1. Faktor Pembatas .....	33
3.1.1. Hukum minimum Liebig .....	33
3.1.2. Hukum Toleransi Shelford .....	34
3.2. Komunitas dan populasi .....	38
3.2.1. Sifat Populasi .....	38
3.2.2. Konsep Komunitas .....	41
3.3. Perkembangan Ekosistem .....	45
3.3.1. Strategi Perkembangan Ekosistem .....	46
3.3.2. Perkembangan Ekosistem .....	49

<b>BAB IV. EKOLOGI PERAIRAN TAWAR</b>	53
4.1. Lingkungan Air Tawar .....	53
4.1.1. S u h u .....	54
4.1.2. Transparansi .....	55
4.1.3. A r u s .....	57
4.1.4. Kadar gas-gas Respirasi .....	57
4.1.5. Kadar garam biogenik .....	57
4.2. Klasifikasi Ekologis Organisme Air Tawar .....	57
4.3. Zona Lithoral .....	60
4.4. Habitat Air Mengalir .....	65
<b>BAB V. EKOLOGI LAUT</b>	67
5.1. Zonasi Lautan .....	69
5.2. Kondisi oseanografi perairan laut .....	72
5.2.1. Pergerakan air laut .....	72
5.2.2. Pasang surut .....	74
5.2.3. Kimia air laut .....	77
5.3. Komunitas Perairan Laut .....	79
5.3.1. Komposisi komunitas daerah dasar .....	79
<b>BAB VI. EKOLOGI ESTUARI</b>	82
6.1. Ruang Lingkup dan Pengertian .....	82
6.2. Sifat Perairan Estuari .....	87
6.2.1. Substrat .....	87
6.2.2. Salinitas .....	88
6.2.3. Suhu .....	89
6.2.4. Kekkeruhan .....	90
6.2.5. Oksigen .....	90
6.3. Komunitas Perairan Estuari .....	91
<b>BAB VII. USAHA PERIKANAN DALAM PERSPEKTIF EKOLOGI</b>	94
7.1. Ekologi Produksi Penangkapan Ikan .....	95
7.2. Ekologi Produksi Budidaya Ikan .....	99

**DAFTAR PUSTAKA**

# DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Kue biologi murni yang dipotong secara vertikal dan horisontal .....	3
Gambar 2.1. Ikatan ekosistem di bumi .....	15
Gambar 2.2. Rantai Makanan dan Ekosistem Perairan .....	18
Gambar 2.3. Piramida Biomassa (A) dan Piramida Energi (B) .....	19
Gambar 2.4. Siklus Hidrologi, dengan keseimbangan air rata-rata tahunan yang dinyatakan dengan angka dalam kurung (satunya adalah relatif terhadap tingkat presipitasi, 100, ke tanah) (Beken, 1995)	21
Gambar 2.5. Siklus Biogeokimia .....	23
Gambar 2.6. Siklus Karbon (C) .....	27
Gambar 2.7. Siklus Nitrogen .....	29
Gambar 2.8. Siklus Sulfur .....	31
Gambar 2.9. Siklus Fosfor .....	32
Gambar 3.1. Perbandingan batas toleransi nisbi organisme stenothermal dan eurythermal .....	35
Gambar 3.2. Hubungan antara jumlah jenis dan jumlah individu per jenis .....	43
Gambar 3.3. Baris besar suksesi di tanah rendah beriklim basah .....	49
Gambar 4.1. Beberapa Jenis Penyebaran Vertikal Kepadatan Phytoplankton Hubungannya dengan Intensitas Cahaya Matahari dan Suhu	56
Gambar 4.2. Zonasi habitat perairan air tawar .....	59
Gambar 5.1. Penyebaran Samudera Di Planet Bumi .....	68
Gambar 5.2. Zonasi wilayah pesisir dan lautan secara horisontal dan vertikal .....	70
Gambar 5.3. Kisaran Pasang Surut (Pasang Purnama – <i>Spring Tides</i> dan Pasang Perbani - <i>Neap Tides</i> ) dan Zonasi Perairannya .....	71
Gambar 5.4. Arus- arus permukaan di laut .....	73
Gambar 5.5. Hubungan Antara Peristiwa Pasang Surut dengan Peredaran Matahari dan Bulan. A = Pasang Surut Purnama ( <i>Spring Tides</i> ) dan B = Pasang Surut Perbani ( <i>Neap Tides</i> ) .....	75
Gambar 6.1. Estuari Positif .....	86
Gambar 6.2. Estuari Negatif .....	86
Gambar 6.3. Perubahan Salinitas di Perairan Estuari .....	88

Gambar 6.4.	Kemampuan Penetrasi Hewan (Laut, Payau, dan Air Tawar) ke Perairan Estuari Dikaitkan dengan Tingkat Salinitas; pada Grafik (A) Kasus untuk Organisme Masuk ke Substrat ( <i>Burrowing Species</i> ) dan Nilai % adalah Relatif terhadap Laut & Sungai .....	93
Gambar 7.1.	Skema Proses Ekologi di Ekosistem Alam .....	95
Gambar 7.2.	Efisiensi Transfer Energi dalam Suatu Rantai Makanan .....	96
Gambar 7.3.	Grafik Hubungan antara Pertumbuhan Individu, Produksi, dan Biomass .....	97
Gambar 7.4.	Skema Dinamika Ikan dalam Suatu Stok .....	98
Gambar 7.5.	Konsep Biologi Penangkapan Maksimum yang Lestari; (A) Tingkat Penangkapan yang Rendah hingga Berkembang; (B) Tingkat Penangkapan pada Tahap Pengelolaan – Manajemen; (C) Tingkat Penangkapan yang Berlebihan – <i>over exploitation</i> .....	98
Gambar 7.6.	Grafik Hubungan antara Pertumbuhan Individu, Produksi, dan Biomass pada Sistem Budidaya Intensif .....	100

▪

# BAB I

# PENDAHULUAN

## 1.1. Pengertian Ekologi

Sejak awal adanya peradaban manusia hingga sekarang pada era Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) modern, azas, konsep dan kaidah ekologi tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia. Kaidah-kaidah ekologi dalam arti proses alam telah dikenal sejak lama seiring dengan perkembangan sejarah manusia, seperti misalnya ikan-ikan kecil yang membutuhkan plankton sebagai makanan dan begitu pula ikan-ikan besar yang membutuhkan ikan-ikan kecil untuk keperluan yang sama. Proses tersebut berlangsung terus menerus secara berkesinambungan, mengikuti apa yang disebut dengan "hukum alam". Kehidupan manusia primitif, secara alami, dituntut untuk memahami lingkungan sekitarnya agar dapat mempertahankan kelangsungan hidupnya. Begitu pula pada masa kehidupan manusia modern, pengetahuan tentang ekologi menjadi lebih penting artinya karena kegiatan yang dilakukan sering, atau bahkan hampir selalu, menimbulkan ketidakseimbangan ekosistemnya. Kegiatan usaha perikanan baik penangkapan maupun budidaya perikanan merupakan salah satu contoh kegiatan yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem perairan apabila dilakukan tidak dengan hati-hati, misalnya berkurangnya atau bahkan punahnya suatu spesies ikan akibat penangkapan yang berlebihan (*over exploitation*), dan rusaknya ekosistem hutan bakau karena perluasan lahan budidaya pantai yang tidak terkendali.

Kata ekologi sendiri pertama kali diperkenalkan oleh Ernest Haeckel, seorang ahli biologi berkebangsaan Jerman pada tahun 1869. Ekologi berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari kata "*oikos*" dan "*logos*". *Oikos* berarti rumah atau tempat tinggal atau tempat untuk hidup, dan *logos* mempunyai arti yang bersifat telaah atau studi. Dengan kata lain, ekologi dapat diartikan sebagai ilmu tentang rumah atau tempat tinggal makhluk hidup. Selanjutnya dalam perkembangannya ekologi didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang pola hubungan antara makhluk hidup (organisme) dengan lingkungannya (Odum, 1971). Nybakken (1982) juga memberikan definisi ekologi sebagai suatu ilmu yang membicarakan tentang spektrum hubungan timbal balik yang terjadi antara organisme dan lingkungannya serta antara kelompok-kelompok organisme. Definisi ini semakin menegaskan bahwa sejak semula yang namanya jasad hidup tidak terdapat sebagai individu atau kelompok individu yang terisolasi. Dalam hal ini, semua organisme berinteraksi satu sama lain dalam lingkungan speciesnya, dengan species lainnya dan

dengan lingkungan fisik maupun kimia di tempat hidupnya. Pada proses interaksi ini organisme saling mempengaruhi satu dengan lainnya dan dengan lingkungan di sekitarnya, begitu pula sebaliknya berbagai faktor lingkungan mempengaruhi kegiatan organisme. Oleh karena itu, perubahan suatu komponen ekosistem akan selalu diikuti oleh komponen lainnya baik yang terkait langsung maupun tidak langsung.

Species adalah suatu kelompok dari individu yang mempunyai potensi untuk berkembang biak, dan hidup dalam suatu daerah membentuk suatu populasi. Selanjutnya beberapa populasi cenderung untuk hidup bersama di dalam berbagai daerah geografis membentuk suatu komunitas. Pada akhirnya suatu komunitas atau serangkaian komunitas beserta lingkungan fisik dan kimia di sekelilingnya secara bersama-sama membentuk ekosistem. Ekosistem merupakan suatu kesatuan yang sangat kompleks dan saling mempengaruhi, sehingga para ahli ekologi cenderung mempelajarinya dengan konsentrasi pada bagian komponennya.

Di dalam ekologi, istilah populasi pada awalnya diciptakan untuk menyatakan sekelompok manusia, yang kemudian diperluas meliputi kelompok individu dari jenis organisme apa saja. Demikian pula halnya dengan komunitas di dalam arti ekologi adalah termasuk semua populasi yang menduduki daerah tertentu.

Dalam perjalanannya, ekologi sebagai ilmu berkembang pesat setelah tahun 1900, terutama dalam dua dasa warsa terakhir. Dan saat ini dikenal pula ilmu tentang lingkungan hidup dan biologi lingkungan yang merupakan bidang ilmu tersendiri. Kedua ilmu baru tersebut pada dasarnya berbeda dengan ekologi yang akan atau sedang kita pelajari saat ini.

## **1.2. Ruang Lingkup dan Pembagian Ekologi**

Menurut Resosoedarmo dkk (1993) bahwa ekologi adalah bagian kecil dari biologi. Hal ini didasarkan pada pembagian biologi murni yang pada dasarnya dikelompokkan menjadi dua, yaitu :

- a) Berdasarkan lapisan vertikal
  - Morfologi : yaitu ilmu tentang bentuk luar
  - Anatomi : yaitu ilmu tentang bagian-bagian dalam
  - Histologi : yaitu ilmu tentang jaringan mikroskopis
  - Fisiologi : yaitu ilmu tentang faal dan proses kerja
  - Genetika : yaitu ilmu tentang sifat keturunan
  - Ekologi : yaitu ilmu tentang rumah mahluk hidup atau organisme
  - dan lain sebagainya

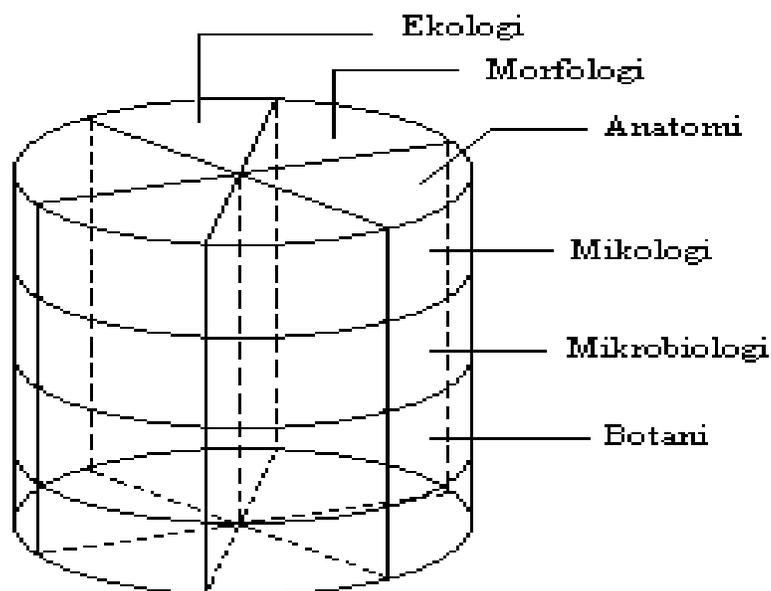
b) Berdasarkan taksonomi atau sistematika

- Mikologi : yaitu ilmu tentang jamur
- Mikrobiologi : yaitu ilmu tentang jasad renik
- Entomologi : yaitu ilmu tentang serangga
- Ornitologi : yaitu ilmu tentang burung
- Botani : yaitu ilmu tentang tumbuh-tumbuhan
- dan lain sebagainya

Pembagian biologi murni tersebut dapat digambarkan seperti kue yang dapat dipotong secara vertikal maupun horisontal, seperti tampak dalam **Gambar 1.1**.

Clask (1954) dan Brewer (1979) membagi ekologi menjadi 2 (dua) kelompok utama, yaitu :

- a) Autekologi ; adalah ekologi yang mempelajari suatu jenis (species) organisme yang berinteraksi dengan lingkungannya. Biasanya penekanannya adalah pada aspek siklus hidup, adaptasi terhadap lingkungan, sifat parasitis atau non parasitis dan lain sebagainya.
- b) Sinekologi ; adalah ekologi yang mengkaji berbagai kelompok organisme sebagai suatu kesatuan yang saling berintegrasi dalam suatu daerah tertentu. Dalam hal ini kita sering mendengar ekologi populasi, ekologi komunitas dan lain sebagainya.



**Gambar 1.1.** Kue biologi murni yang dipotong secara vertikal dan horisontal

Selain kedua kelompok pembagian di atas, terdapat juga ahli ekologi yang melakukan pengelompokan berdasarkan habitatnya, yaitu ekologi perairan tawar, ekologi estuari (air payau), ekologi laut dan lain sebagainya. Dalam pengelompokan ini, meskipun asas-asasnya sama, akan tetapi jenis organismenya, hubungannya dengan manusia dan metoda pengkajiannya mungkin sangat berbeda.

### **1.3. Makhluk Hidup dan Lingkungannya**

#### **1.3.1. Makhluk hidup**

Sekitar 2.000 - 3.000 juta tahun yang lalu, tanah dan planet kita mencapai suatu kondisi fisik yang sedemikian rupa, dimana temperatur berada pada kondisi yang serasi dan laut es sudah mencair sehingga memungkinkan terjadinya kehidupan. Pada saat itu, atmosfer tidak mengandung oksigen bebas, akan tetapi terdiri dari hidrogen, uap air, metan dan amonia.

Pada tahun 1953, Miller melakukan percobaan dengan menggunakan atmosfer buatan seperti di atas dan kedalam atmosfer tersebut dimasukkan energi dalam bentuk tembakan-tembakan listrik pada temperatur kamar. Hasil dari percobaan ini adalah ditemukannya sejumlah besar asam lemak yang berbeda-beda dan asam amino yang merupakan bahan utama protein. Di masa lampau, asam lemak dan asam amino serta protein diyakini merupakan senyawa-senyawa organik yang hanya dihasilkan oleh organisme hidup. Namun setelah percobaan Miller, jelas bahwa senyawa-senyawa tersebut dan senyawa-senyawa lain dapat terbentuk melalui sintesa kimia tanpa adanya kehidupan sama sekali. Dan energi untuk pembentukan substansi-substansi asli tersebut saat ini diyakini berasal dari radiasi *ultra violet matahari*.

Sampai saat ini, percobaan-percobaan berkembang sangat pesat dan senyawa-senyawa yang terbentuk pun merupakan kombinasi untuk membentuk senyawa-senyawa yang lebih kompleks. Protein mempunyai fungsi mensintesa senyawa kompleks dan asam-asam nukleik yang memproduksi sistem serupa, sehingga kriteria organisme hidup dapat dipenuhi oleh dua macam senyawa tersebut yaitu protein dan asam nukleik. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa prinsip-prinsip hidup tersebut sebenarnya sudah ada sebelum organisme hidup ada (Widjojo, 1995).

Lebih lanjut juga dikemukakan bahwa untuk pembentukan organisme hidup perlu adanya sejumlah molekul-molekul yang sesuai, dan molekul-molekul tersebut memang ada dalam air dan dikelilingi atau diselubungi oleh membran yang dapat

berubah menjadi sel. Cerita lain dalam pembentukan sel telah ditunjukkan oleh "OPARIN" dengan "**Coarcevate drops**" (droplets mengandung inklusi-inklusi yang diselubungi membran). Dan juga oleh FOX dengan mikrosfer-mikrosfer yang terbentuk dari substansi serupa protein setelah pemanasan dan pendinginan asam-asam amino dalam air.

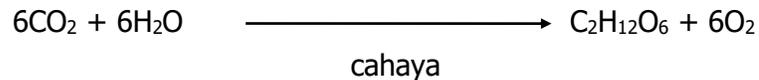
Pada awalnya sel-sel tersebut memakan senyawa-senyawa melalui membran-membran semi-permeable, seperti amoeba jaman sekarang. Akan tetapi persediaan makanan seperti itu tentu saja terbatas dan dari kondisi mengambil makanan sebagai "organisme hidup pemula" (*heterotrof primer*) kemudian membentuk mekanisme sintesis dan tumbuh berkembang dengan menggunakan protein-proteinnnya. Dengan demikian memungkinkan organisme pemula tersebut mensintesa sendiri senyawa-senyawa kompleks dari substansinya sendiri dan senyawa-senyawa sederhana yang ada dalam air di sekelilingnya. Proses sintesa tersebut menggunakan energi kimia seperti pada bakteri atau energi sinar matahari seperti pada bakteri dan ganggang hijau-biru. Disinilah terjadi perubahan dari organisme pemula (*heterotrof primer*) menjadi pembuat makanannya sendiri (*autotrof primer*) melalui proses fotosintesa.

Sistem yang paling efisien mengikuti mekanisme sintesa di atas adalah pembentukan khlorofil, dengan zat hijau daun dalam tumbuhan hijau yang melaksanakannya. CO<sub>2</sub> sebagai larutan dalam air dan udara, energi yang tersedia dari sinar matahari dan garam-garam sederhana sebagai larutan dalam air maupun tanah secara bersama-sama membantu melaksanakan pembentukan senyawa organik seperti : protein, karbohidrat, lemak, dan lain sebagainya. Oleh karena itu, zat hijau daun menjadi produsen senyawa-senyawa organik yang esensial bagi organisme hidup. Hal ini terbukti dari fosil ganggang uniseluler yang ditemukan dalam batuan geologis hampir 2.000 juta tahun umurnya.

Dalam jaman Pre-Cambium (500 - 600 juta tahun yang lalu) bumi kita hanya didiami algae dan bunga karang (sponge), setelah itu bumi memasuki era cambium. Pada era Cambium, algae dan bunga karang (keduanya merupakan organisme bersel satu) mengalami jaman "*Cambium Explosior*" yaitu jumlahnya bertambah dengan cepat dan pada masa itu mulai terbentuk organisme *multi selluler* tingkat rendah. Terjadinya cambium explosion antara lain disebabkan karena atmosfer pada waktu itu mengalami perubahan biokimia dari reduksi menjadi oksidasi. Perubahan ini dikenal pula dengan evolusi biokimia dalam atmosfer yang mengakibatkan terjadinya proses fotosintesa, yaitu metabolisme

oksidatif. Disini algae dan bunga karang memulai kehidupan autotrof, yaitu membuat makanannya sendiri melalui proses fotosintesa dan disebut sebagai organisme autotrof primer.

Dalam fotosintesa tersebut, air merupakan sumber elektron untuk proses reduksi karbon dioksida menjadi gula, dan molekul-molekul oksigen bebas sebagai berikut:



Semula pada era Pre-Cambium yang menjadi donor elektron itu adalah H<sub>2</sub>S, kemudian pada era cambium yang menjadi donor elektron adalah H<sub>2</sub>O. Saat H<sub>2</sub>S habis, maka muncul fotosintesa dan ozon mulai berakumulasi dalam atmosfer yang mengakibatkan radiasi ultra violet menjadi tersaring. Pada kondisi tersebut H<sub>2</sub>O mengambil alih H<sub>2</sub>S sebagai donor elektron dan oksigen yang terbentuk mulai ikut campur dalam metabolisme seluler sampai pada kondisi di bawah anaerobik. Oleh karena atmosfer berubah dari kondisi reduktif menjadi kondisi oksidatif, maka metabolisme energi yang baru berlangsung lebih tinggi dan lebih efisien. Dengan demikian muncul kondisi oksidatif berupa metabolisme aerobik. Pada proses fotosintesa tersebut, oksigen digunakan sebagai aseptor elektron terminal dan oksidasi glukose (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) sempurna menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Dengan demikian akan lebih banyak energi yang dapat dihasilkan atau disimpan oleh fotosintesa. Sampai sekarang kebanyakan organisme hidup atau hampir seluruhnya, secara langsung atau tidak langsung, tergantung pada metabolisme oksidatif.

Dari uraian tersebut di atas dapat dikemukakan bahwa yang pertama kali muncul di dunia adalah tumbuh-tumbuhan dan merupakan pabrik pembuat bahan makanan organisme yang utama. Fungi sekalipun dianggap tidak lagi sebagai tumbuh-tumbuhan bersama-sama dengan hewan kemudian terbentuk sebagai akibat adanya variasi yang memungkinkan mereka hidup tanpa susah payah mensintesa bahan organik. Kehidupan itu tidak hanya menyangkut sintesa saja, akan tetapi juga dekomposisi. Oleh karena itu, beberapa bentuk kehidupan berspesialisasi dan itulah fungi. Fungi bukanlah tumbuhan, karena tidak mempunyai kemampuan mensintesa makanan dan tidak berkhlorofil.

Disamping itu, terdapatnya organisme hidup lain yang memakan tumbuh-tumbuhan atau organisme hidup lainnya. Kelompok organisme ini seluruh hidupnya sangat tergantung pada tumbuhan baik langsung (herbivora dan omnivora) maupun yang tidak langsung (karnivora). Cara makan hewan-hewan

ini berefek mendasar pada struktur tubuh dan kebiasaan hidupnya. Dalam hal ini, pada tingkat uniselluler hewan bersel satu merangkul tumbuhan uniselluler dan hewan-hewan yang mempunyai tingkat lebih tinggi menunjukkan prinsip-prinsip mendasar tentang cara makannya.

Dari uraian yang telah dikemukakan di atas dapat disimpulkan bahwa organisme yang pertama kali adalah organisme yang mempunyai organisasi untuk makan, bergerak dan berbiak yaitu organisme uniselluler. Adanya sub divisi dari organisme uniselluler menjadi organisme multiselluler memungkinkan organisme baru tersebut :

- a) bertambah besar ukurannya
- b) bagian-bagian tubuhnya berdiferensiasi sehingga lebih efisien dalam fungsinya.

Pada hewan, terbentuknya sel syaraf menyebabkan timbulnya tugas-tugas baru seperti persepsi impresi rangsangan dan koordinasi, sel-sel otot untuk bergerak, sel-sel usus untuk pencernaan dan lain sebagainya. Dengan terbentuknya hewan multiselluler maka dalam hal berbiak perlu adanya fusi dua sel kelamin (gamet jantan dan gamet betina). Persatuan gamet-gamet tersebut yang masing-masing berinti tunggal kemudian dikenal dengan istilah reproduksi seksual.

Sementara pada reproduksi aseksual, satu sel membelah menjadi dua atau lebih dan keturunannya secara genetis adalah identik. Pada reproduksi seksual, sebelum sel jantan dan betina bersatu (fertilisasi) masing-masing sel tersebut membelah untuk kemudian bersatu dan membentuk zygote yang kemudian tumbuh menjadi embrio, selanjutnya berkembang menjadi individu (generasi baru).

Dari fakta-fakta di atas jelas bahwa organisme uniselluler secara potensial dapat berkembang biak secara langsung, dalam arti reproduksi secara membelah tersebut akan dapat menghasilkan generasi baru yang berkemampuan sama secara terus menerus. Demikian pula reproduksi dengan cara persatuan sel jantan dan sel betina akan menghasilkan keturunan yang dapat meneruskan kehidupan tanpa putus, sekali pun organisme yang menghasilkan keturunannya tersebut cepat atau lambat harus mati.

### **1.3.2. Lingkungan mahluk hidup**

Sampai abad ke-18 manusia dianggap sebagai makhluk yang unik, namun sejak tahun 1837, Darwin menetapkan bahwa manusia mempunyai hubungan asal usul dengan hewan dan hanya berbeda bahwa manusia mempunyai kode etik dalam tabiatnya. Setelah seseorang mempelajari apa yang disebut dengan "HISTORIA NATURAE" maka ia akan menyadari bahwa manusia telah menemukan sumber inspirasi yang tidak pernah habis. Species yang dapat hidup saat ini pada dasarnya karena mampu menyesuaikan diri dengan lingkungannya baik fisik, kimia maupun biologi yang secara bersama-sama membentuk keseimbangan alam.

Dalam upaya melestarikan lingkungan hidup, manusia sebagai makhluk yang berkode etik dalam tabiatnya perlu mempelajari etologi yang merupakan kunci jawaban terhadap apakah manusia akan atau tidak akan menghancurkan diri sendiri melalui tabiatnya, yaitu perlakuannya terhadap keturunan-keturunannya.

Kemudian pada abad ke-19, manusia menduga bahwa alam dalam keadaan seimbang dan stabil dalam arti hubungan antara dunia hewan dan tumbuhan terintegrasi secara sempurna. Namun mulai permulaan abad ke-20 dugaan itu berubah, dan pengertian akan keseimbangan alam itu berbeda dari sebelumnya. Disini penelitian-penelitian ekologi telah memberikan kesimpulan bahwa fungsi organisme dalam hubungannya dengan lingkungan berubah. Sebagai contoh adalah terjadinya fluktuasi yang besar pada populasi hewan termasuk didalamnya ikan berada dalam kondisi yang dinamis dan labil. Terjadinya fluktuasi populasi hewan ini adalah sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti iklim, jumlah mineral esensial dan elemen-elemen mikro. Faktor-faktor tersebut pada dasarnya akan mempengaruhi tingkat natalitas dan mortalitas populasi. Sedangkan faktor-faktor lain yang juga berpengaruh adalah persediaan makanan, rantai makanan (food chain) dan jaring-jaring makanan (food web).

Secara umum dapat dikatakan bahwa makin jelas dan makin tinggi spesialisasi hewan terhadap makanan, maka akan semakin berkurang tingkat persaingan yang terjadi terhadap makanan. Hal ini, mengakibatkan semakin banyak hewan yang berspesialisasi terhadap makanan tersebut yang mati. Fenomena ini sekaligus menjelaskan terjadinya species hewan langka dan jenis hewan yang hilang (musnah) serta terganggunya rantai makanan dan jaring-jaring makanan (Odum, 1971).

Perubahan iklim dapat mempengaruhi masa perkembangbiakan hewan, dan populasi predatornya serta populasi hewan makanannya. Khusus pada hewan-hewan air, pengaruh mikro elemen terlihat jelas bila elemen-elemen garam yang

larut dalam air berubah. Phytoplankton dan Zooplankton yang hidup dalam perairan memegang peranan penting bagi populasi ikan.

Akhir-akhir ini, faktor-faktor luar yang dapat mempengaruhi keseimbangan ekosistem makin menjadi kompleks dan sering kali sulit untuk dijelaskan secara tepat factor penyebab apabila terjadi gangguan terhadap suatu ekosistem. Sebagai contoh, industri telah terbukti menyebabkan pencemaran lingkungan baik darat, air maupun udara. Pencemaran air dapat menyebabkan tumbuhnya ganggang yang berlebihan sehingga mengakibatkan terjadinya de-oksigenasi air yang selanjutnya dapat menurunkan jumlah populasi ikan. Kondisi demikian ditemukan pula pada kegiatan budidaya perikanan intensif, yaitu terjadinya penambahan bahan organik yang berlebihan dari pakan yang tidak dikonsumsi oleh ikan dan dari hasil ekskresi dari ikan yang dibudidayakan atau dikenal dengan *self-pollution*.

## BAB II

# ASAS DAN KONSEP DALAM EKOLOGI

### 2.1. Ekosistem

Di alam, pada dasarnya, antara organisme hidup (unsur biotis) dan lingkungan fisik (unsur abiotis) mempunyai hubungan yang sangat erat dan saling pengaruh mempengaruhi satu sama lain. Satuan yang meliputi semua organisme yang kemudian dikenal dengan *komunitas* pada suatu daerah akan saling mempengaruhi dengan lingkungan fisiknya, sehingga arus energi mengarah kepada struktur makanan, keanekaragaman biotik dan daur-daur bahan seperti misalnya pertukaran bahan-bahan antara unsur biotis dan abiotis di dalam sistem. Keadaan ini dikenal dengan sistem ekologi atau lebih sering disebut dengan ekosistem. Istilah ekosistem, pertama kali diperkenalkan oleh seorang ahli ekologi berkebangsaan Inggris yaitu A.G. Tansley pada tahun 1935 (Odum, 1971).

Konsep ekosistem merupakan konsep yang luas dengan fungsi utamanya di dalam pemikiran atau pandangan ekologi adalah merupakan hubungan wajib, ketergantungan dan hubungan sebab akibat dari rangkaian komponen-komponen untuk membentuk satuan-satuan fungsional. Dari segi makanan, ekosistem memiliki dua komponen yaitu :

- a) Komponen autotrofik (mampu membuat makanan sendiri) yang bercirikan hal-hal sebagai berikut :
  - mampu mengikat energi sinar
  - mampu menggunakan senyawa-senyawa anorganik sederhana dan
  - mampu membangun senyawa-senyawa kompleks yang menonjol

Dalam ekosistem, autotrofik adalah kelompok organisme yang mempunyai zat hijau daun (*Chlorofil*) dan menjalankan fungsi sebagai produser primer (*primary producer*) karena mampu membuat makanannya sendiri melalui proses fotosintesa. Oleh karena itu, kelompok ini menempati tingkatan tropik yang pertama dalam rantai/jaring makanan.

- b) Komponen heterotrofik (memakan yang lain) mempunyai ciri menonjol seperti pemaknaan, pengaturan kembali dan perombakan bahan-bahan yang kompleks. Dalam ekosistem kelompok ini adalah kelompok organisme yang tidak mampu

membuat makanannya sendiri sehingga harus tergantung dari organisme lain dan menjalankan fungsinya sebagai konsumen. Konsumen pertama (*primary consumer*) adalah kelompok organisme pemakan tumbuhan (*herbivorous*). Disamping itu, terdapat pula kelompok organisme heterotrof yang termasuk dalam golongan organisme pengurai, yang memperoleh energy dengan merombak bahan-bahan organik kompleks atau proses penguraian (*decomposition*). Dalam kehidupan sehari-hari dan juga di bidang perikanan fungsi kelompok organisme ini memainkan peranan penting dalam mempertahankan dinamika aliran energy dan material di alam.

Selanjutnya untuk keperluan diskriptif ada baiknya untuk melihat komponen-komponen berikut yang merupakan bagian dari ekosistem.

- a) Senyawa-senyawa anorganik yang terlibat di dalam daur-daur bahan seperti C, N, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan lain sebagainya.
- b) Senyawa-senyawa organik seperti protein, karbohidrat, lemak dan senyawa-senyawa lain yang menghubungkan unsur-unsur biotik dan abiotik
- c) Resum iklim seperti temperatur dan faktor-faktor fisik lainnya
- d) Produsen yaitu organisme-organisme autotrofik yang sebagian besar terdiri dari tumbuhan hijau dan mampu membuat makanan dari senyawa-senyawa anorganik yang sederhana.
- e) Makro konsumen atau fagotrof-fagotrof yang pada dasarnya merupakan organisme heterotrofik, terutama hewan-hewan yang mencerna organisme lain atau butiran-butiran bahan organik.
- f) Mikro konsumen atau saprotrof-saprotrof adalah organisme heterotrofik terutama bakteri dan cendawan yang merombak senyawa-senyawa kompleks dari proto plasma mati, kemudian menghisap sebagian dari hasil perombakan dan melepaskan bahan makanan anorganik yang dapat dipergunakan oleh produsen bersama dengan senyawa organik.

Tiga komponen yang pertama adalah merupakan komponen abiotis dan sisanya adalah komponen biotis. Dalam hal ini kebanyakan dari elemen-elemen penting seperti C, H, O, N, P dan sebagainya serta senyawa-senyawa organik seperti protein, karbohidrat, lemak dan lain sebagainya tidak hanya dijumpai di dalam maupun di luar organisme-organisme hidup, tetapi juga berada dalam keadaan yang terus berubah antara keadaan-keadaan hidup dan tidak hidup. Terdapat beberapa senyawa yang tampaknya unik untuk keadaan yang satu atau yang lainnya seperti halnya bahan penyimpan energi tinggi ATP (*adenosin*

*trifosfat*) yang dijumpai hanya pada sel-sel hidup. Sedangkan senyawa humik (humus) yang merupakan hasil akhir proses pembusukan tidak pernah ditemukan dalam sel, akan tetapi tetap merupakan komponen utama dan khas dalam setiap ekosistem.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa ekosistem adalah suatu fungsional dari berbagai ukuran yang tersusun dari bagian-bagian yang hidup dan tidak hidup yang saling berinteraksi. Bagian-bagian komponen dan sistem secara keseluruhan berfungsi berdasarkan suatu urutan kegiatan yang menyangkut energi dan pemindahan material. Dalam kaitan ini seyogyanya perlu diketahui dan dipahami kaidah-kaidah ekosistem yang secara umum dikemukakan oleh Ryadi (1981) sebagai berikut :

a) Ekosistem diatur atau dikendalikan secara alamiah

Ekosistem secara alamiah mempunyai kemampuan untuk mengatur keseimbangan antara masukan dan keluaran energi dan dikenal dengan istilah *cybernetic*. Dengan demikian ekosistem mempunyai daya tahan terhadap perubahan yang terjadi akibat interaksi antar komponen pembentuknya dan dikenal dengan istilah *homeostasis*. Homeostasis merupakan istilah tentang ketahanan suatu system biologis terhadap perubahan yang terus menerus sehingga system tersebut selalu dalam keadaan seimbang. Keadaan homeostasis dicapai melalui proses umpan balik negatif dan umpan balik positif.

Apabila jenis dan jumlah zooplankton meningkat dengan pesat maka jenis dan jumlah phytoplankton akan menurun dengan cepat karena dikonsumsi oleh zooplankton. Proses selanjutnya, sampai pada tingkat tertentu populasi zooplankton akan mengalami penurunan karena tidak tersedia cukup phytoplankton sebagai makanannya dan akhirnya terbentuk keseimbangan baru. Proses perubahan tersebut merupakan contoh dari bekerjanya *umpan balik negatif* yang terjadi di alam. Sementara itu, *contoh dari umpan balik positif*, yaitu apabila populasi phytoplankton meningkat dengan pesat maka populasi zooplankton akan meningkat pula karena banyak tersedia makanan. Peningkatan zooplankton tersebut akan berhenti setelah kecapai suatu keseimbangan baru antara phyto- dan zoo-plankton.

b) Ekosistem mempunyai kemampuan optimal dalam keadaan berimbang

Suatu ekosistem akan berfungsi optimal apabila komponen-komponen pembentuknya berada dalam keseimbangan dan menjalankan fungsinya dengan baik. Suatu ekosistem kolam yang digunakan untuk budidaya tradisional akan berperan secara optimal dan dapat mencapai produksi yang maksimal apabila mempunyai jenis dan jumlah pakan alami yang memadai, lingkungan fisika dan kimia airnya sesuai dengan

jenis dan jumlah ikan yang dibudidayakan, dengan tanpa mengabaikan aspek lain yang terkait dalam kegiatan budidaya.

- c) Diantara unsur-unsur dalam lingkungan terjadi interaksi timbal balik dan saling mempengaruhi. Contoh dari interaksi timbal balik ini dapat dilihat dalam butir "d".
- d) Interaksi dilakukan antar unsur-unsur (komponen) ekosistem, yaitu :

- ***Komponen biotis dengan komponen abiotis***

Air dalam suatu ekosistem kolam dengan segala sifat fisika dan kimianya merupakan media hidup dan kehidupan organisme akuatik. Dalam suatu kolam yang mempunyai kepadatan phytoplankton tinggi akan mempengaruhi tingkat kecerahan perairan karena penetrasi cahaya matahari terhalang (komponen biotis mempengaruhi komponen abiotis) sehingga mengurangi intensitas penyinaran. Tingkat pencemaran yang tinggi di suatu perairan, maka akan mengurangi jenis dan jumlah spesies yang berada dalam perairan tersebut (komponen abiotis mempengaruhi komponen biotis).

- ***Komponen biotis dengan komponen biotis***

Contoh dari interaksi ini, yaitu interaksi antara tanaman air dan ikan-ikan dalam suatu ekosistem kolam. Pada siang hari, tanaman air dalam proses fotosintesanya mengeluarkan oksigen yang dapat dimanfaatkan oleh ikan untuk respirasinya, dan ikan melalui proses respirasinya akan mengeluarkan karbondioksida yang diperlukan oleh tanaman untuk kegiatan fotosintesa. Disamping itu, beberapa jenis ikan memanfaatkan tanaman air untuk menepelkan telurnya.

- ***Komponen abiotis dengan komponen abiotis***

Tingkat kelarutan oksigen (*oxygen solubility*) dalam air akan menurun dengan meningkatnya suhu air tersebut.

- e) Interaksi yang terjadi berada dalam suatu dinamika

Contoh-contoh sebagaimana yang diuraikan sebelumnya dalam butir "a" sampai dengan "d" akan terus berlangsung. Kandungan dan kelarutan oksigen dalam perairan dalam satu hari antara siang dan malam akan selalu berubah-ubah hingga dicapai suatu keseimbangan baru dan begitu seterusnya secara bergantian. Perubahan lingkungan fisik tersebut juga akan diikuti oleh komponen lain dalam ekosistem tersebut baik abiotis dan biotis.

- f) Setiap ekosistem mempunyai sifat khas, disamping sifat-sifat umum

Suatu ekosistem danau di pegunungan (dataran tinggi) dan ekosistem danau di dataran rendah mempunyai sifat umum yang sama, yaitu merupakan ekosistem air menggenang. Adapun sifat khasnya adalah berkenaan dengan tekanan udara dan suhu yang berbeda, yaitu danau di dataran tinggi berada pada daerah dengan tekanan udara dan suhu yang lebih rendah disbanding danau di dataran rendah.

- g) Sistem tergantung pada waktu dan tempat.

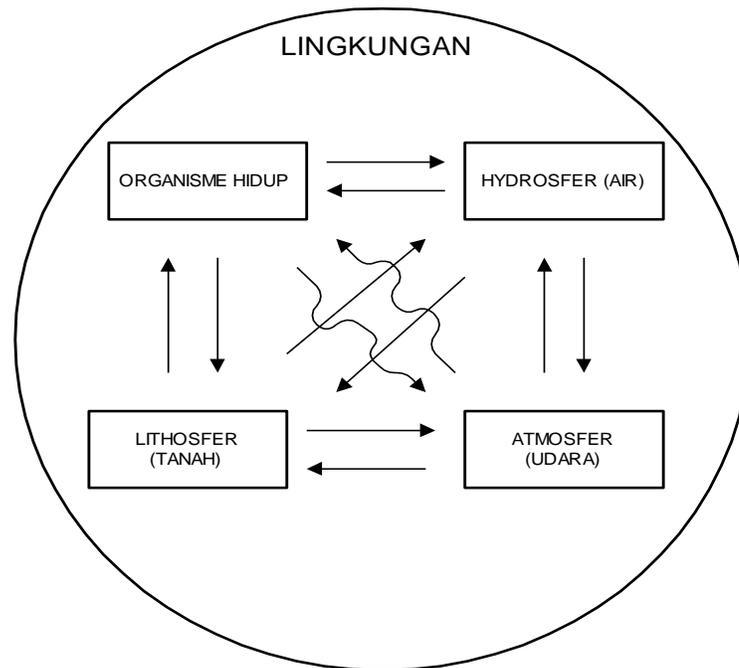
Ekosistem perairan Teluk Jakarta akan berbeda dengan ekosistem perairan Teluk Banten, karena jumlah aktivitas yang mempengaruhinya berbeda. Adapun aspek waktu, sebagai contoh, komposisi dan jumlah phytoplankton di ekosistem perairan waduk Jatiluhur pada saat musim penghujan dengan musim kemarau akan berbeda, karena perbedaan jumlah dan kualitas air yang masuk ke dalam waduk. Pada saat musim penghujan, air sungai akan lebih banyak membawa partikel-partikel tersuspensi hasil erosi air hujan di daerah hulu disbanding musim kemarau. Perbedaan ini bahkan akan dapat diamati antara siang dan malam karena perbedaan penyinaran matahari.

Distribusi dari berbagai ekosistem di bumi dalam kaitan geografis didapatkan merata pada apa yang disebut dengan biosfer, yaitu bagian bumi yang memungkinkan adanya kehidupan. Bagian-bagian bumi yang memungkinkan adanya kehidupan dimaksud adalah

- a) Pada permukaan dari tanah atau sedimen bumi di bawah badan-badan air (lithosfer)
- b) Badan-badan air antara lain sungai, danau, lautan dan lain sebagainya (hydrosfer)
- c) Bagian dari atmosfer yang didiami oleh organisme hidup seperti burung, bakteri dan lain sebagainya.

Ketiga bentuk bagian bumi tersebut bersama-sama dengan organisme hidup mempunyai ikatan timbal balik yang kemudian dikenal dengan ikatan ekosistem seperti yang ditunjukkan melalui **Gambar 2.1**.

Wadah secara keseluruhan dari ikatan ini selanjutnya dikenal dengan istilah lingkungan. Melihat luasnya lingkungan tersebut dan kompleksnya ekosistem yang ada di dalamnya, maka banyak ahli yang membedakan berdasarkan sifat-sifat umum maupun khasnya.



**Gambar 2.1.** Ikatan ekosistem di bumi

## 2.2. Energi

Dalam konsep ekologi, energi didefinisikan sebagai kemampuan mengerjakan pekerjaan. Pengetahuan tentang energi ditelaah dalam hukum-hukum sebagai berikut :

### a) Hukum Termodinamika I

Hukum ini menyatakan bahwa energi dapat dirubah dari satu tipe kedalam tipe yang lain, akan tetapi tidak pernah dapat diciptakan atau dimusnahkan.

Contoh : Sinar matahari adalah suatu bentuk energi, karena dapat dirubah menjadi kerja, panas atau energi potensial dari makanan atau tergantung pada keadaan. Akan tetapi tidak satupun dari bentuk ini yang dapat dimusnahkan.

Hukum ini pada dasarnya merupakan keragaman manifestasi hidup yang semuanya disertai oleh adanya perubahan-perubahan energi, walaupun tidak ada energi yang diciptakan atau dihancurkan. Energi yang memasuki permukaan bumi sebagai sinar akan selalu diimbangi oleh energi yang meninggalkan permukaan bumi sebagai radiasi panas yang tidak tampak. Penyerapan sinar matahari oleh daratan dan air akan menghasilkan daerah-daerah panas dan dingin, yang memungkinkan adanya

aliran udara dan dapat dimanfaatkan misalnya sebagai pendorong kincir angin dan lain sebagainya. Jadi dalam kasus ini, energi sinar diubah melalui energi panas darat ke energi kinetik.

b) Hukum Thermodinamika II

Tidak ada peristiwa atau proses yang melibatkan energi akan berlangsung secara spontan, kecuali dengan adanya penurunan energi dari bentuk yang dimampatkan ke bentuk yang disebar.

Contoh : Panas didalam benda panas akan secara spontan cenderung tersebar kedalam lingkungan.

Hukum ini juga dapat dinyatakan karena beberapa energi selalu tersebar kedalam energi panas yang tidak dapat digunakan, maka tidak ada perubahan secara spontan dari energi menjadi energi potensial yang efisien 100 persen. Hukum kedua thermodinamika membicarakan pemindahan energi kearah keadaan yang makin berkurang dan makin tersebar. Dan sejauh yang berkaitan dengan sistem matahari, maka energi tersebut berada dalam bentuk energi panas.

Pada dasarnya organisme, ekosistem dan seluruh biosfer memiliki sifat thermodinamika dasar untuk dapat menciptakan dan mempertahankan tata tertib dalam tahapan tinggi atau keadaan entropi rendah. Dalam hal ini entropi rendah dicapai oleh penghancuran energi yang terus menerus dan penggunaan tinggi sinar atau makanan ke energi penggunaan rendah seperti halnya panas. Di dalam suatu ekosistem "tata tertib" dalam arti kompleks struktur biomassa dipelihara oleh kegiatan respirasi seluruh komunitas yang dilakukan secara terus menerus.

Di dalam ekologi, secara mendasar harus diperhatikan bagaimana sinar matahari dihubungkan dengan sistem ekologi dan dengan cara bagaimana energi dirubah dalam sistem tersebut. Hubungan yang terjadi antara tumbuh-tumbuhan sebagai produsen dan hewan/binatang sebagai konsumen, atau sebagai pemangsa dan yang dimangsa di dalam lingkungan tertentu selalu dibatasi dan dikendalikan oleh hukum-hukum dasar. Bilamana energi matahari menerpa bumi dan cenderung diturunkan dalam bentuk energi panas, maka sebagian kecil sinar tersebut akan diserap oleh tumbuh-tumbuhan hijau untuk kemudian dirubah menjadi energi potensial (makanan) dan sebagian lagi berubah kembali menjadi panas yang meninggalkan ekosistem tumbuhan.

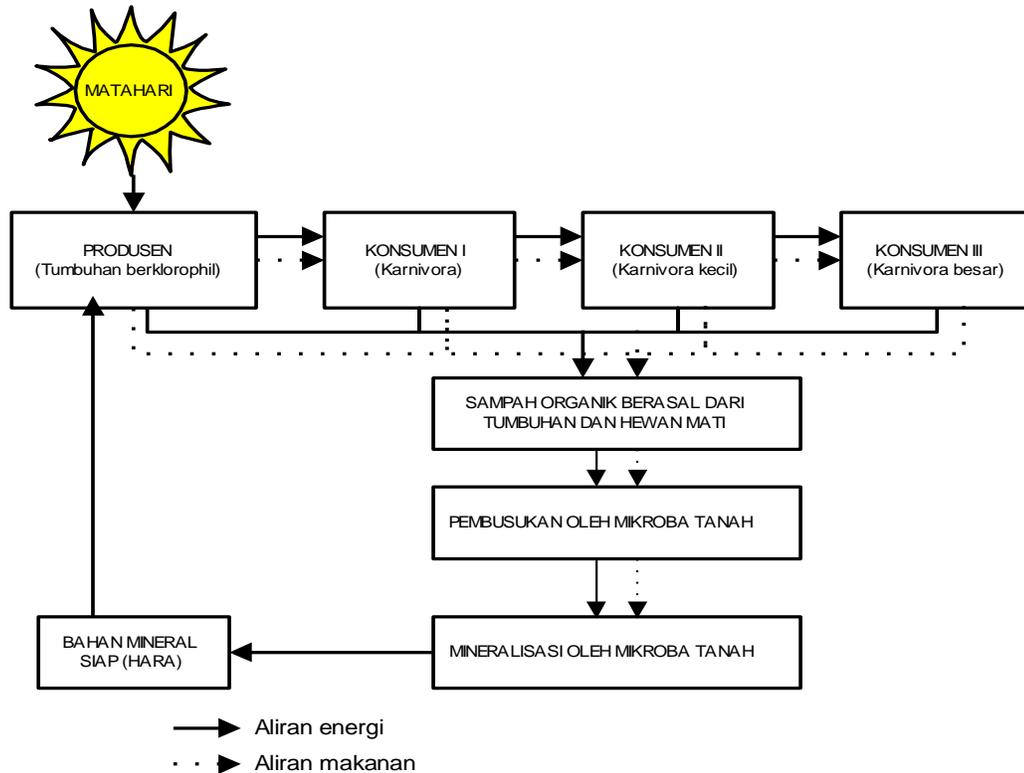
Dengan kata lain, Nybakken (1982) mengemukakan bahwa energi yang berasal dari matahari ditangkap oleh komponen autotrofik atau tumbuh-tumbuhan yang mempunyai hijau daun. Kemudian energi yang ditangkap disimpan dalam ikatan kimia zat organik

tanaman yang merupakan makanan dan mendorong terus berjalannya komponen heterotrofik sistem tersebut. Dalam hal ini, organisme heterotrofi meliputi semua bentuk-bentuk kehidupan yang lain, yang mendapatkan energinya dengan cara mengkonsumsi organisme lain.

Air adalah suatu lingkungan yang merupakan tempat hidup berbagai organisme air termasuk didalamnya ikan, sehingga air sangat penting peranannya bagi perikanan. Air sebagai ekosistem yang kemudian lebih dikenal sebagai ekosistem perairan mempunyai tingkat produktivitas yang ditentukan oleh kemampuan perairan tersebut untuk menyerap dan meneruskan energi matahari ke berbagai tingkat trofik. Dalam hal ini, produsen primer seperti phytoplankton dan algae yang mampu memanfaatkan sinar matahari secara langsung adalah merupakan perintis atau awal dari aliran energi dan material di dalam rantai makanan (*food chain*) melalui proses biosintesis. Dari sini energi dan material diteruskan ke produsen sekunder/konsumen tingkat pertama seperti zooplankton dan ikan-ikan herbivora pemakan produsen primer.

Pada tahap selanjutnya di dalam rantai makanan, terdapat beberapa ikan pemakan zooplankton maupun pemakan ikan-ikan kecil dan bahkan kanibal. Disini penggunaan produsen oleh konsumen tingkat yang lebih tinggi secara konstan, akan mengakibatkan hilangnya sejumlah energi. Oleh karena itu, biomassa produsen akan semakin berkurang dengan semakin tingginya tingkatan trofik. Dengan kata lain, produksi ikan yang dihasilkan dalam suatu perairan hanya sebagian kecil dari produsen primer yang ada. Selanjutnya melalui **Gambar 2.3** dapat dilihat sistem rantai makanan yang merupakan aliran energi di dalam ekosistem perairan.

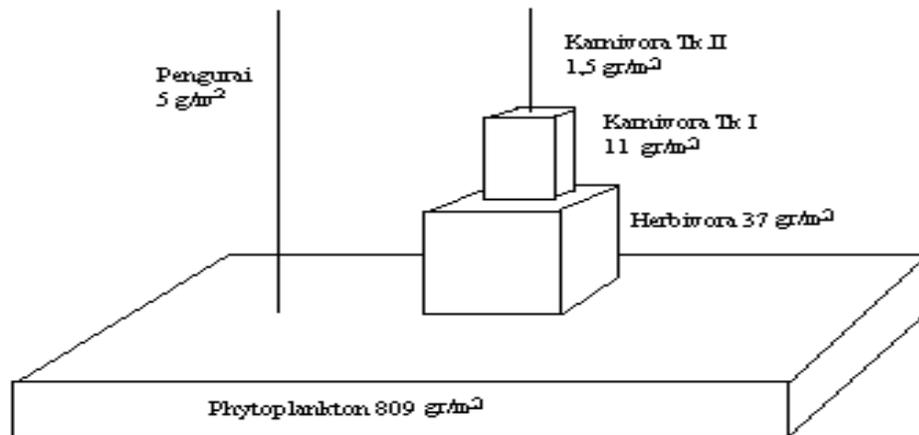
Pengaturan autotrof dan urutan tingkatan-tingkatan heterotrof tersebut dikenal dengan istilah "struktur trofik", sedangkan setiap urutan tingkatan konsumen disebut dengan "tingkatan trofik". Struktur trofik adalah suatu ciri khas semua ekosistem. Tingkat trofik yang pertama disebut autotrofik atau tingkatan produsen, dimana energi pada awalnya ditangkap dan disimpan dalam senyawa-senyawa organik. Sementara energi dipindahkan dari satu tingkatan ke tingkatan berikutnya dalam sistem tersebut, dimana sebagian energi akan hilang sebagai panas dan terpakai dalam proses metabolisme oleh organisme.



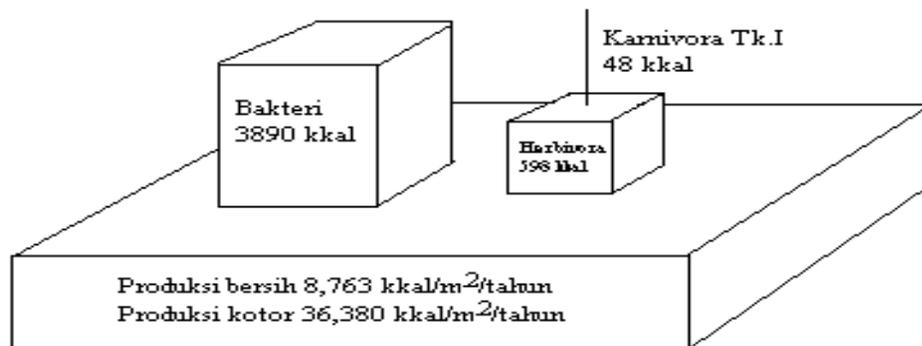
**Gambar 2.2.** Rantai Makanan Pada Ekosistem Perairan

Selanjutnya dari **Gambar 2.2** dapat dijelaskan bahwa sumber kehidupan dalam suatu perairan adalah berasal dari energi yang merupakan sinar matahari, dimana energi sinar matahari ini adalah sangat bervariasi jumlahnya dan tergantung pada musim. Sehingga dengan demikian, energi sinar matahari yang diterima dapat membatasi hasil maksimal produksi primer dari suatu perairan. Disamping itu, produksi primer juga sangat ditentukan oleh tersedianya nutrisi dalam bentuk unsur-unsur hara yang ada di dalam perairan.

Jumlah energi yang hilang adalah bervariasi dan jumlahnya cukup besar yaitu antara 80 - 95%. Oleh karena itu sistem ini harus membatasi dirinya sendiri, karena pada titik tertentu energi yang tersisa tidak cukup untuk diteruskan agar dapat menopang tingkatan berikutnya. Hal ini dapat diperagakan dalam bentuk piramid energi atau piramid biomass, seperti dapat dilihat melalui **Gambar 2.3**.



(A)



(B)

**Gambar 2.3.** Piramida Biomass (A) dan Piramida Energi (B)

Produksi primer yang dihasilkan dalam suatu perairan selanjutnya akan dimanfaatkan oleh konsumen I, konsumen II dan seterusnya untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Dalam hal ini baik produksi primer maupun konsumen adalah merupakan sumber bahan organik di dalam perairan, yang akan mengalami proses penguraian oleh bakteri aerob maupun anaerob. Hasil penguraian bahan-bahan organik akan menghasilkan berbagai jenis atau bentuk bahan lain yang lebih sederhana, dimana diantaranya adalah berupa unsur-unsur hara yang akan dimanfaatkan untuk menghasilkan produksi primer di dalam perairan.

Siklus semacam ini akan berlangsung secara terus menerus, dan merupakan aliran energi yang terjadi di dalam perairan.

Uraian di atas sekaligus menunjukkan bahwa di dalam perairan terdapat adanya hubungan yang holistik antara komunitas biotik dengan lingkungan abiotik baik fisik maupun kimia. Hubungan ini bersifat alami dan disebut dengan ekosistem, dimana ekosistem saling mempertukarkan unsur-unsur biotis maupun abiotis dengan ekosistem lainnya. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa ikan secara langsung maupun tidak langsung adalah sangat tergantung pada kelompok vegetatif (phytoplankton) sebagai makanannya. Produksi kelompok vegetatif ini pada lingkungan perairan juga tergantung pada sinar matahari, karbon dioksida, pH, unsur-unsur hara dan lain sebagainya yang terdapat di dalam perairan. Dalam kaitan ini juga dapat dikemukakan bahwa semakin panjang rantai makanan suatu jenis atau spesies ikan, maka akan semakin besar pula kerugian energi yang terjadi. Dan sebaliknya apabila rantai makanan tersebut semakin pendek, maka akan semakin besar pula produksi jenis atau spesies ikan yang akan dihasilkan.

### **2.3. Siklus Hidrologi**

Salah satu bagian dari biosfer adalah hydrosfer yang didominasi oleh air. Air di dalam biosfer mengalami suatu siklus yang dikenal dengan siklus hidrologi. Air pada dasarnya adalah merupakan senyawa hidrogen (H) dan oksigen (O), yang bentuk senyawanya di alam ada dua macam, yaitu :

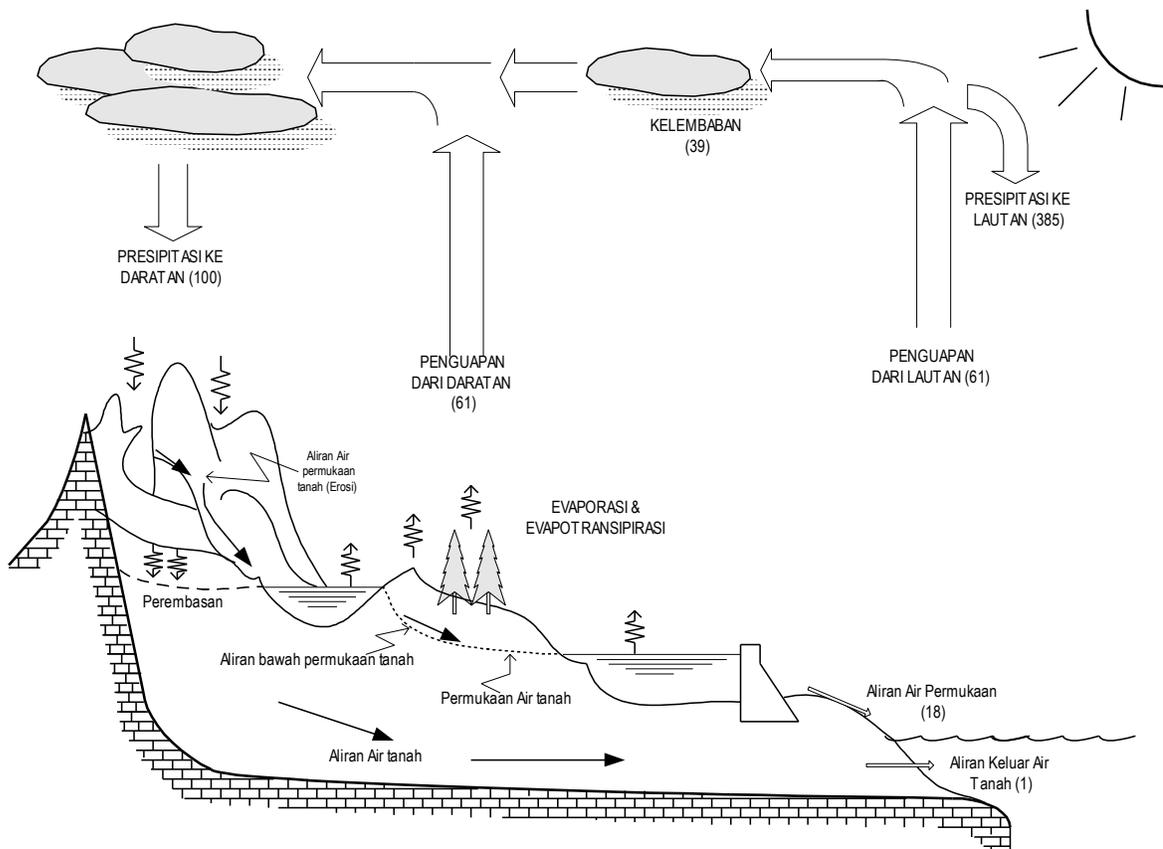
- a) Hidrogen Oksida ( $H_2O$ )
- b) Hidrogen perioksida ( $H_2O_2$ )

Air yang selama ini dikenal adalah merupakan senyawa hidrogen oksida ( $H_2O$ ), dengan bentuknya di alam dapat berupa air, es, salju dan uap air. Di alam apabila air tersebut berkumpul sebagai badan air dikenal dengan lautan, rawa, danau, sungai dan lain sebagainya. Apabila air ini berada di bawah tanah dikenal dengan sebutan air tanah dan yang melayang di udara dikenal dengan uap air. Bentuk-bentuk air ini bergerak secara dinamis melalui siklus yang dapat dilihat dalam **Gambar 2.4**.

Dari gambar tersebut terdapat beberapa jalan yang memungkinkan terjadinya siklus air, yaitu :

- a) Antara permukaan tanah bumi dan atmosfer melalui proses-proses presipitasi dan evaporasi.
- b) Jalan batuan melalui penunjang-penunjang biotik dari permukaan bumi.

Melalui dua jalan tersebut dimungkinkan terbentuknya suatu jaringan yang dikenal dengan siklus hidrologi dengan ekosistemnya yang dikenal dengan ekosistem perairan. Gambar tersebut menunjukkan uap air yang ada di atmosfer pada titik jenuh tertentu akan mengakibatkan turunnya hujan. Curahan hujan ini merupakan hubungan jalan air dari atmosfer ke permukaan bumi/tanah, dan sebaliknya arah yang berlawanan memungkinkan aliran air berupa uap air ke atmosfer yaitu melalui proses penguapan baik evaporasi maupun evapotranspirasi. Penguapan air dari permukaan bumi merupakan produk dari unsur-unsur biotis karena adanya proses fotosintesis maupun transpirasi oleh tumbuhan.



**Gambar 2.4.** Siklus Hidrologi, dengan keseimbangan air rata-rata tahunan yang dinyatakan dengan angka dalam kurung (satunya adalah relatif terhadap tingkat presipitasi, 100, ke tanah) (Beken, 1995)

Air merupakan komponen yang sangat penting bagi kehidupan dan jumlahnya di alam adalah terbatas. Secara umum, rincian jumlah air di alam adalah sebagai berikut :

Jumlah air total	=	1.360.000.000	km <sup>3</sup> terdiri dari :
a) Air asin	=	1.322.600.000.000	km <sup>3</sup> (97,25 %)
b) Air tawar	=	37.400.000	km <sup>3</sup> (2,75 %) terdiri dari :
• Air atmosfer	=	13.000	km <sup>3</sup> (0,035 %)
• Air permukaan	=	374.000	km <sup>3</sup> (1,00 %)
• Air tanah	=	8.963.000	km <sup>3</sup> (23,965 %)
• Salju (es)	=	28.050.000	km <sup>3</sup> (75 %)

Rincian jumlah air di alam tersebut sekaligus menggambarkan betapa terbatasnya jumlah air tawar yang dapat dimanfaatkan untuk menunjang kehidupan. Di sisi lain, seperti dikemukakan sebelumnya, air mempunyai peranan yang sangat penting bagi kehidupan. Oleh karena itu, upaya menjaga kelestarian sumberdaya air menjadi prioritas pada beberapa dekade terakhir. Disamping itu, jumlah air tawar dalam bentuk salju (es) yang lebih dikenal dengan sebutan es abadi berada dalam jumlah yang cukup besar, yang apabila mencair dapat mendatangkan malapetaka bagi kehidupan bumi.

#### **2.4. Siklus Biogeokimia**

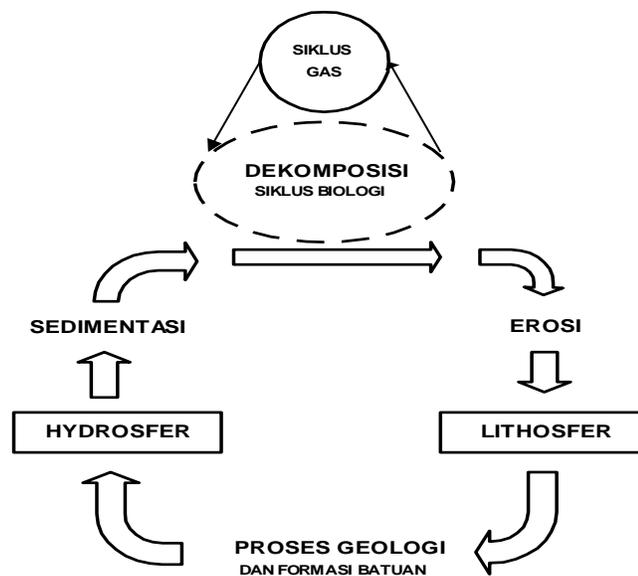
Unsur-unsur kimia di alam mempunyai kecenderungan untuk beredar di dalam biosfer, yang kemudian lebih dikenal sebagai siklus biogeokimia. Setiap unsur kimia mempunyai kekhasan di dalam siklus biogeokimia, tetapi umumnya terdiri dari dua kelompok, yaitu :

- Kelompok cadangan yang terdiri dari komponen non biologi dalam jumlah yang besar dan bergerak lambat.
- Kelompok pertukaran/peredaran yang merupakan bagian yang lebih kecil dari kelompok cadangan, akan tetapi lebih aktif dan selalu bertukar secara cepat antara organisme dan lingkungannya.

Menurut Odum (1971), dari 90 unsur yang telah diketahui terdapat di alam, sekitar 30-40 unsur adalah diperlukan oleh organisme hidup. Beberapa unsur tersebut seperti karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O) dan lain sebagainya diperlukan dalam jumlah besar dan sebaliknya beberapa jenis unsur dibutuhkan dalam jumlah sedikit. Namun demikian, apapun kegunaan dari unsur-unsur tersebut bagi organisme hidup pada dasarnya di alam memperlihatkan siklus biogeokimia tertentu.

Istilah biogeokimia dikenalkan Hutchinson antara tahun 1944-1950 yang pada dasarnya merupakan pengkajian pertukaran atau perubahan terus menerus dari bahan/unsur antara komponen biosfer yang hidup dan tidak hidup. Untuk mempelajari siklus

biogeokimia tersebut diperlukan 3 (tiga) disiplin ilmu, yaitu biologi, geologi dan kimia. Dan dalam sejarah keberadaannya, suatu atom tertentu pada suatu waktu adalah merupakan bagian dari batu dan pada waktu yang lain atom tersebut berada dalam lautan bebas serta pada waktu yang lainnya lagi dapat merupakan bagian dari tubuh hewan hidup atau tumbuhan. Jadi suatu atom tersebut dapat dikatakan telah melalui fase abiotik sebagai benda mati dalam batu dan kemudian dalam lautan, yaitu fase geologis-kimia dan telah pula melalui fase biotik dalam tubuh hewan dan tumbuhan. Dengan kata lain, atom tersebut berganti-ganti melalui fase-fase abiotik ke fase biotik secara berulang-ulang. Dapat juga dikemukakan bahwa segala isi yang terkandung dalam biosfer sebagai sumber energi yang potensial baik yang tersembunyi dalam lithosfer, hydrosfer maupun atmosfer dapat dimanfaatkan untuk pemenuhan kebutuhan makhluk hidup. Pemenuhan kebutuhan tersebut dapat secara langsung dalam arti berkaitan dengan kelangsungan ekosistemnya, maupun secara tidak langsung untuk peningkatan kualitas hidup. Secara umum, siklus biogeokimia yang terjadi di alam dapat dilihat dalam **Gambar 2.5**.



**Gambar 2.5.** Siklus Biogeokimia

Dari sekian banyak unsur dan persenyawaan kimia yang ada dalam ekosistem terdapat suatu daur bolak balik antara organisme dan lingkungan fisiknya. Dan beberapa daur ini menyangkut persenyawaan kimia yang amat diperlukan bagi keseimbangan pemeliharaan kehidupan di dalam ekosistem (Odum, 1971 ; Pitcher and Hart, 1982 dan Nybakken, 1992). Oleh karena itu, daur biogeokimia ini adalah sesuatu yang sangat penting, karena

dalam setiap daur terdapat suatu gudang cadangan utama atau simpanan unsur dan berasal dari gerakan unsur secara terus menerus keluar masuk melalui organisme.

Dalam setiap daur juga terdapat suatu tempat pembuangan sejumlah tertentu unsur kimia dan unsur kimia ini tidak dapat didaur-ulangkan melalui peristiwa biasa. Hilangnya unsur kimia ke tempat pembuangan dalam periode waktu yang lama dapat menjadi faktor pembatas, kecuali apabila tempat pembuangan tersebut dapat dimanfaatkan kembali. Situasi ini pada umumnya terjadi dalam peristiwa geologis, dimana unsur-unsur yang tertimbun tersebut dilepaskan kembali melalui organisme, erosi dan faktor-faktor lain. Siklus biogeokimia pada akhirnya cenderung mempunyai mekanisme umpan balik yang dapat mengatur sendiri (self-regulation) dan menjaga siklus tersebut dalam keseimbangan (Nybakken, 1992).

Untuk kelangsungan proses biogeokimia itu diperlukan energi yang berasal dari matahari, seperti halnya penggunaan energi matahari dalam proses fotosintesa oleh tumbuhan hijau. Dalam proses fotosintesa, molekul klorofil dirangsang karena absorpsi energi cahaya. Untuk kembali menjadi keadaan normal, maka molekul klorofil melewati bentuk kemis yaitu, "*adenosin triphosfat*" (ATP) sebagai simpanan energi yang nantinya dapat digunakan untuk mengerjakan proses biogeokimia kembali.

Elemen terpenting yang tersangkut dalam konstruksi organisme hidup tersebut adalah C (karbon). Dalam bagian kedua proses fotosintesa adalah terbentuknya, CO<sub>2</sub> dan terjadinya senyawa-senyawa organik yang majemuk yaitu inkorporasi C dan CO<sub>2</sub> ke dalam senyawa-senyawa organik. Disini terjadi stadium dimana atom C melewati fase abiotis ke fase biotis. CO<sub>2</sub> secara biokimia direduksi dengan mengeluarkan energi dan membentuk tiga molekul karbon, lalu membentuk komponen majemuk yang kaya energi seperti gula dan karbohidrat.

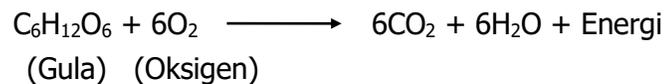


Senyawa majemuk tersebut mengalami tiga kemungkinan, yaitu :

- a) Dengan oksigen pernafasan menjadi CO<sub>2</sub> dan air dan bersama itu dilepaskan energi.
- b) Dimakan oleh hewan herbivora dan diubah menjadi lemak, protein dan lain sebagainya untuk selanjutnya dimakan oleh karnivora.
- c) Dipakai sebagai sumber energi bagi organisme penghancur bangkai.

Pembentukan CO<sub>2</sub> dari respirasi tersebut adalah reaksi : oksidasi/reduksi (Redoks), sehingga siklus C tersebut sangat erat kaitannya dengan oksigen. Respirasi pada dasarnya adalah proses kimia, dimana energi dibebaskan dari makanan dan selanjutnya

dipergunakan dalam proses pertumbuhan, reproduksi, gerakan dan lain sebagainya. Proses kimia terpenting dalam respirasi adalah proses oksidasi berupa proses pembakaran yang berlangsung sangat lambat dibawah pengaruh enzim-enzim. Perbedaan respirasi dengan pembakaran adalah pada pembakaran terdapat panas dan berlangsung cepat tanpa pengaruh enzim, sedangkan respirasi berlangsung lambat dan dapat disamakan sebagai evolusi dibawah pengaruh enzim. Substansi yang sering mengalami respirasi adalah gula dan jarang pada protein maupun lemak. Pada gula dapat digambarkan sebagai berikut:



Respirasi dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

a) Aerobik

Berlangsung dengan adanya oksigen bebas. CO<sub>2</sub> yang terbentuk dipergunakan lagi dalam proses fotosintesa dan energi yang terbentuk dipergunakan dalam proses tersebut dan proses lainnya.

b) Anaerobik

Berlangsung tanpa atau sedikit sekali oksigen dimana gula dan protein banyak mengalami respirasi anaerobik. Proses respirasi anaerobik berada di bawah pengaruh enzim dengan hasil utama CO<sub>2</sub> dan etil alkohol. Respirasi anaerobik berbeda dari proses fermentasi yang menghasilkan CO<sub>2</sub>, alkohol dan lain sebagainya.

### **2.4.1. Siklus Karbon (C)**

Proses dekomposisi bahan-bahan organik tidak dapat dipisahkan dengan siklus karbon yang terjadi di alam dan proses dekomposisi ini sering juga disebut dengan "reclamation of waste material". Hasil akhir dari proses dekomposisi ini dikenal dengan kompos.

Peristiwa dekomposisi dapat berlangsung melalui dua cara, yaitu :

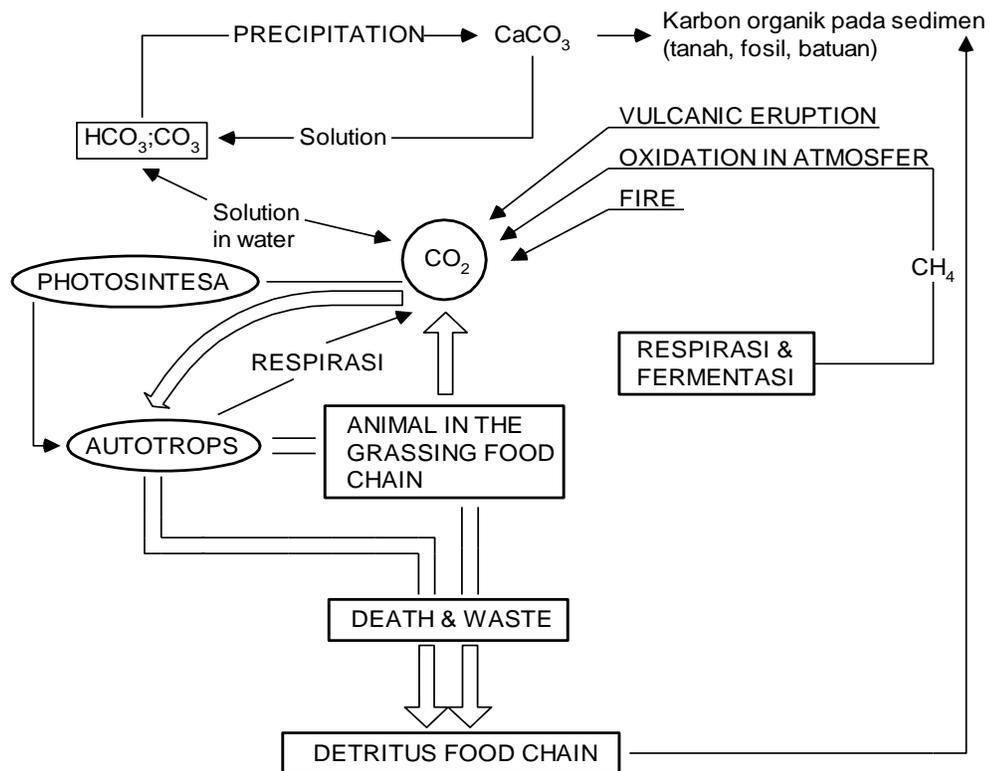
- a) Dekomposisi aerobik, seperti misalnya respirasi.
- b) Dekomposisi anaerobik, seperti misalnya fermentasi

Dalam proses dekomposisi inilah dapat dijelaskan bagaimana siklus karbon berlangsung di alam.

Siklus karbon adalah merupakan suatu aliran atau distribusi sumber karbon dari suatu ekosistem ke ekosistem lainnya. Dengan kata lain, siklus karbon adalah juga menggambarkan bagaimana unsur-unsur karbon tersebut beredar dalam suatu lingkungan. Unsur karbon masuk dalam rantai makanan dalam bentuk karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang berasal dari atmosfer, kemudian masuk ke dalam tumbuh-tumbuhan atau bagian lain dari proses fotosintesa. Melalui proses fotosintesa,  $\text{CO}_2$  dirubah menjadi gula, dan dari gula ini dapat dibentuk ulang berbagai zat organik oleh tumbuh-tumbuhan seperti protein, vitamin dan lain sebagainya. Sampai disini siklus yang terjadi dikenal dengan "siklus karbon dasar". Selanjutnya pada proses fermentasi, produk-produk karbon kompleks seperti metan yang berupa gas dibebaskan ke dalam atmosfer, untuk kemudian disana di oksidasi menjadi  $\text{CO}_2$ .

Dari gambar siklus karbon dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu :

- a) Semua  $\text{CO}_2$  dari udara melalui proses fotosintesa autotrof dirubah menjadi glukosa dan bahan-bahan organik lain.
- b) Kelompok autotrof selama respirasi mengeluarkan  $\text{CO}_2$  kembali ke udara (atmosfer).
  - $\text{CO}_2$  yang sudah diikat menjadi glukosa termakan oleh binatang/manusia melalui rantai makanan.
  - Sebagian dari kelompok autotrof dapat mati atau selama hidupnya dia membuang bahan-bahan organik seperti gugurnya daun, bahan ekskresi, rusaknya jaringan dan lain sebagainya.
  - pada akhirnya bahan-bahan tersebut akan memasuki sistem "detritus food chain".
- c) Detritus food chain merupakan sampah, yang selanjutnya akan mengalami proses dekomposisi di dalam tanah baik melalui aerobic respiration maupun anaerobik fermentation dan menghasilkan  $\text{CO}_2$  maupun  $\text{CH}_4$  yang berupa gas. Selanjutnya  $\text{CO}_2$  langsung dibebaskan dan berakumulasi di atmosfer untuk sewaktu-waktu dipakai kembali pada proses fotosintesa sedangkan  $\text{CH}_4$  di udara langsung dioksidasi menjadi  $\text{CO}_2$ .



**Gambar 2.6.** Siklus Karbon (C)

### 2.4.2. Siklus Nitrogen (N)

Nitrogen adalah salah satu bahan penting dalam ekosistem, dimana sumber nitrogen utama dalam siklusnya berada di atmosphere dalam bentuk molekular nitrogen ( $\text{N}_2$ ). Sumber nitrogen di udara berasal dari beberapa proses alam, diantaranya adalah :

- Kebakaran hutan
- Pengikisan batu-batuan oleh udara
- Pembebasan  $\text{N}_2$  hasil denitrifikasi dari dalam tanah atau air

Organisme autotrof didalam memperoleh kebutuhan nitrogen berasal dari hasil proses nitrifikasi di tanah, yang diabsorpsi melalui akar. Setelah diabsorpsi, maka nitrogen yang berasal dari tanah dalam bentuk nitrat atau amonia digabungkan dengan molekul organik untuk kemudian disintesa menjadi asam-asam amino, protein, asam nukleat dan vitamin. Sedangkan di tanah, pembebasan nitrogen terjadi dalam bentuk ureum yang banyak sekali dihasilkan lewat urin hewan atau

dalam bentuk nitrat hasil nitrifikasi. Satu-satunya pembebasan dalam bentuk N<sub>2</sub> dari tanah adalah apabila terjadi pembakaran padang rumput dan hutan. Pembebasan nitrogen dari hasil pembakaran tersebut disamping dalam bentuk N<sub>2</sub>, juga ada dalam bentuk NO<sub>2</sub>.

Ditritus food chain yang berkaitan dengan nitrogen dalam tanah mengalami proses nitrifikasi oleh organisme detritus, dimana gugusan amino dirubah menjadi nitrit, sehingga proses ini disebut nitrifikasi. Proses nitrifikasi ini terjadi di dalam tanah maupun danau, air laut dan badan-badan air lainnya, termasuk pada sedimen dengan proses sebagai berikut :



Kemudian setelah nitrat terbentuk, maka bakteri dari genus nitrobakter berperan menggabungkan nitrit dengan oksigen untuk membentuk nitrat

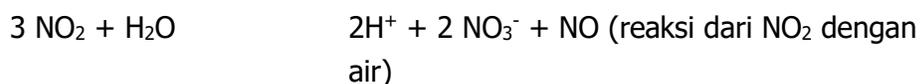
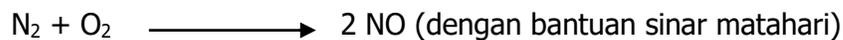


Selama proses nitrifikasi, dibebaskan sejumlah energi dan bakterinya sendiri membuat bahan-bahan organik dari CO<sub>2</sub> dan air. Disamping itu, pada permulaan rantai makanan senyawa nitrat mulai diabsorpsi oleh autotrof. Dan pada phase inilah dikenal dengan phase organik dari autotrops.

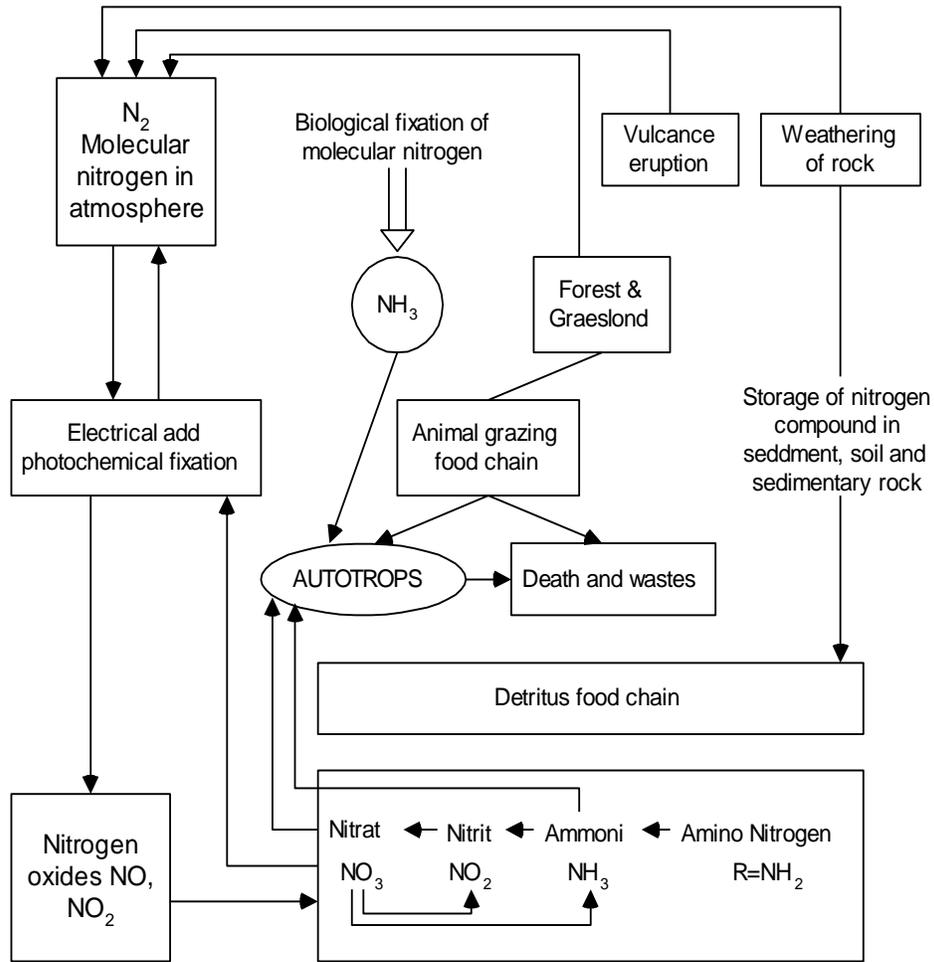
Sebaliknya pada proses denitrifikasi, bakteri-bakteri tertentu akan mencegah persenyawaan N-organik dalam keadaan oksigen konsentrasi rendah, sehingga terbentuk nitrat dan nitrit yang dipecahkan menjadi NH<sub>3</sub> atau molekul nitrogen (N<sub>2</sub>).



Di atmosfer, N<sub>2</sub> dapat juga dioksidasi oleh sinar menjadi NO<sub>2</sub> yang dengan air dapat beraksi menjadi nitrat dengan rangkaian reaksi sebagai berikut :



Reaksi ini berlangsung sangat lambat dan kurang berarti, akan tetapi yang lebih penting justru melalui "biological fixation" yang dapat dilakukan oleh nitrogen ini ini dapat diikuti melalui **Gambar 2.7**.



**Gambar 2.7.** Siklus Nitrogen

### 2.4.3. Siklus Sulfur (S)

Siklus sulfur adalah sangat berbeda jika dibandingkan dengan siklus karbon dan siklus nitrogen, dimana pada siklus sulfur kejadian diatmosphere dapat dikatakan tidak berarti. Sebaliknya pada phase sedimen adalah sangat penting dan reaksi-reaksi yang terjadi pada umumnya adalah mengikuti reaksi-reaksi nutrien.

Pada siklus sulfur, absorpsi dilakukan dalam bentuk sulfat ( $\text{SO}_4$ ) melalui akar tumbuh-tumbuhan. Persenyawaan sulfat ini banyak dijumpai di dalam rantai makanan akibat adanya ekskresi dari hewan/binatang. Disamping itu, pada pembakaran hutan maupun padang rumput juga dibebaskan senyawa sulfur dalam bentuk sulfur dioksida. Di dalam jaringan hidup pada umumnya sulfur terdapat dalam bentuk sulhydril groups sebagai bagian dari bahan organik. Pada detritus food chain, ikatan sulhydril (SH) dapat dipecah menjadi  $\text{H}_2\text{S}$ . Proses pemecahan dilakukan melalui dekomposisi oleh bakteri pembusuk. Dalam lingkungan yang aerobik,  $\text{H}_2\text{S}$  dioksidasi menjadi sulfat oleh bakteri tertentu, dengan reaksi sebagai berikut :



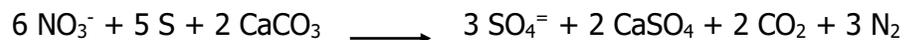
Sulfat yang dihasilkan pada reaksi di atas dapat dipergunakan kembali oleh autotrops. Selanjutnya pada kondisi lingkungan yang lain, beberapa bakteri fotosintesa dapat membuat karbohidrat dan mengoksidasi suatu sulfide menjadi sulfur atau sulfat.



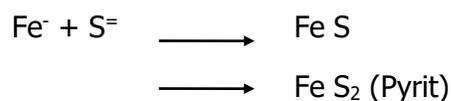
Demikian pula sulfur dapat dibentuk oleh bakteri dalam bentuk sulfat sebagai berikut :



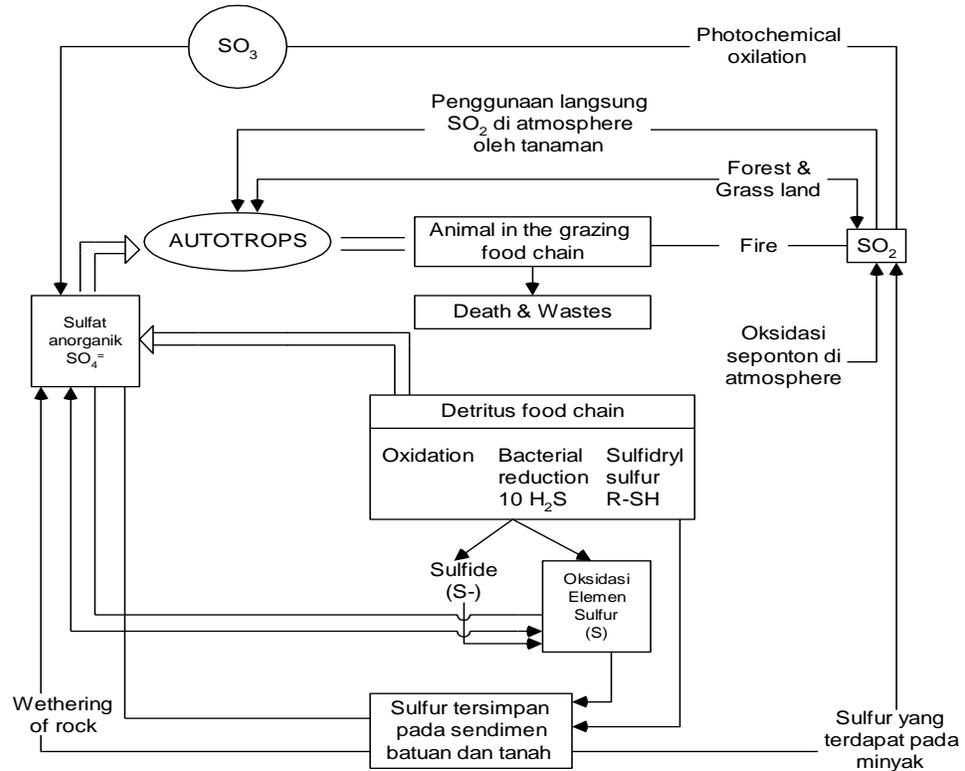
dibawah kondisi anaerobik, elemen sulfur dapat selalu dioksidasi menjadi sulfat selagi masih terdapat nitrat, dengan reaksi sebagai berikut :



Seluruh elemen sulfat yang dihasilkan dari proses-proses tersebut diatas ternyata tidak dapat larut, melainkan menumpuk sebagai sedimen. Apabila di dalam sedimen tersebut terdapat besi, maka ia akan bergabung dengan besi tersebut menjadi ferrosulfida.



Perlu juga untuk diketahui bahwa sulfat sendiri kelarutannya sangat terbatas, maka apabila ia terikat oleh atom garam seperti kalsium (Ca) akan mengendap sebagai  $\text{CaSO}_4$ . Untuk lebih jelasnya, berikut ini disajikan gambar siklus sulfur.



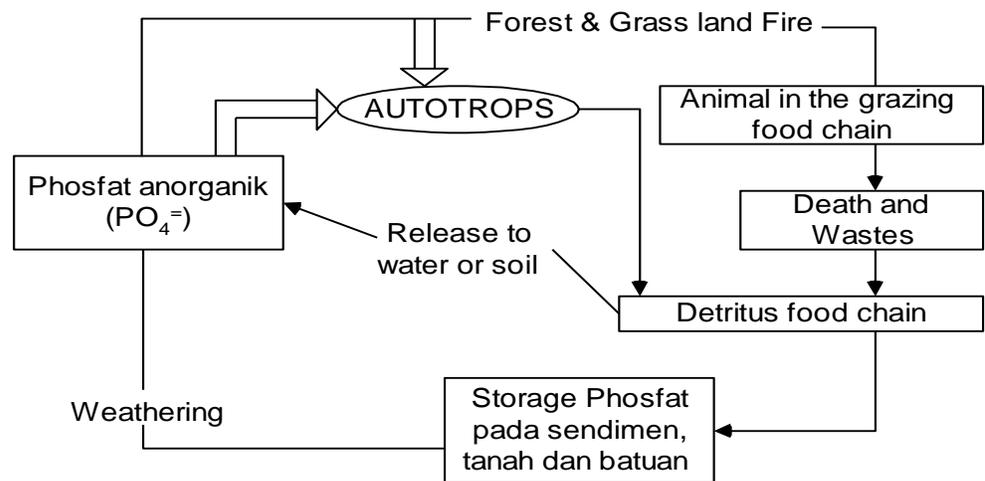
**Gambar 2.8.** Siklus Sulfur

#### 2.4.4. Siklus Phosfor (P)

Di alam phosfor terdapat dalam bentuk fosfat atau analognya seperti  $\text{HPO}_4$  atau  $\text{H}_2\text{PO}_4$ , yang tidak larut di dalam air. Sumber-sumber fosfat dalam ekosistem adalah berupa endapan gunung yang apabila mengalami erosi maupun kikisan oleh udara memungkinkan tersedianya fosfat dalam bentuk ion anorganik. Sumber lain dari ion anorganik fosfat dalam jumlah besar di alam adalah pembakaran hutan atau tanah ladang. Ion anorganik fosfat ini kemudian dimanfaatkan oleh autotrops untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan.

Seperti halnya pada siklus nitrogen maupun sulfur, hewan-hewan yang memakan autotrops akan mengeluarkan ekskresi untuk kemudian masuk ke dalam detritus

food chain. Disamping itu, dari autotrops dapat pula langsung karena gugurnya jaringan-jaringan maupun wastes menjadi detritus foor chain. Selanjutnya gambar mengenai siklus phosfor ini dapat dilihat melalui gambar berikut :



**Gambar 2.9.** Siklus Fosfor

#### 2.4.5. Siklus Nutrient Lain

Siklus nutrient lain yang berada di luar siklus-siklus seperti telah diuraikan sebelumnya, pada dasarnya memiliki pola ekosistem dan siklus yang hampir sama. Nutrient ini umumnya tergantung pada kemampuan larutan di dalam air, seperti misalnya mineral-mineral yang karena kemampuan berbagai bentuknya larut di dalam air, maka ia dapat diedarkan keluar dari sistem dan terbawa oleh aliran air di dalam tanah ke lain bagian. Dengan kata lain, banyak nutrient yang ada dalam suatu ekosistem sangat tergantung pada aliran air.

Perbandingan antara jumlah nutrient yang dapat lolos dari suatu ekosistem adalah sangat tergantung pada jumlahnya yang terdapat pada sumber ekosistem tersebut, kemampuan lolos, sifat biokimia dan lain sebagainya.

**BAB III**

**FAKTOR PEMBATAS, KOMUNITAS &  
PERKEMBANGAN EKOSISTEM**

**3.1. Faktor Pembatas**

Untuk dapat bertahan dan hidup di dalam keadaan tertentu, suatu organisme harus memiliki bahan/unsur-unsur penting yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangan biakan. Dengan kata lain, bahan/unsur-unsur penting ini sekaligus juga merupakan faktor pembatas bagi kehidupan suatu organisme. Keperluan dari bahan atau unsur-unsur ini pada dasarnya bervariasi antara jenis dan keadaan. Oleh karena itu dalam bahasan ini akan dicoba untuk diuraikan materi-materi yang berkaitan dengan hukum "*Minimum Liebig*", hukum "*Toleransi Shelford*" dan indikator-indikator ekologi.

**3.1.1. Hukum Minimum Liebig**

Justus Liebig merupakan perintis dalam pengkajian pengaruh berbagai faktor terhadap pertumbuhan tumbuh-tumbuhan. Dia menemukan bahwa hasil tanaman seringkali dibatasi bukan oleh unsur hara yang diperlukan dalam jumlah banyak (seperti karbon dioksida dan air), akan tetapi justru oleh unsur-unsur yang diperlukan dalam jumlah sedikit dan sangat langka di tanah seperti halnya unsur boron (Brewer, 1979). Pernyataan bahwa pertumbuhan suatu tanaman tergantung pada jumlah bahan makanan yang disediakan baginya dalam jumlah minimum dan dikenal dengan "*Hukum Minimum Liebig*". Selanjutnya dalam perjalanan waktu, banyak ahli ekologi yang mengembangkan pernyataan tersebut juga meliputi faktor-faktor lingkungan selain unsur hara seperti temperatur, salinitas, oksigen dan lain sebagainya, termasuk juga elemen waktu.

Untuk menghindari terjadinya perbedaan persepsi dan salah penafsiran, maka dalam penjelasan berikutnya konsep ini akan dibatasi pada unsur-unsur kimia saja seperti oksigen, fosfor dan lain sebagainya yang sangat diperlukan dalam pertumbuhan. Jadi hukum minimum ini hanya merupakan satu aspek dari konsep faktor-faktor yang membatasi kehidupan atau dengan kata lain hanya merupakan satu aspek pengendali lingkungan dari organisme. Untuk melengkapi hukum minimum Liebig, maka ada dua hal yang harus diperhatikan yaitu :

- a) Hukum Minimum Liebig hanya dapat diterapkan dengan tepat pada keadaan yang mantap, yaitu apabila arus masuk energi dan material seimbang dengan arus keluarnya.
- b) Faktor interaksi, konsentrasi atau ketersediaan yang tinggi dari beberapa senyawa atau beberapa faktor selain yang minimum, akan dapat merubah laju penggunaan faktor tersebut. Kadang-kadang suatu organisme mempunyai kemampuan untuk mengganti atau paling tidak sebagian senyawa yang secara kimia dekat hubungannya dengan salah satu jenis bahan yang kekurangan dalam lingkungannya.

### **3.1.2. Hukum Toleransi Shelford**

Pada dasarnya kehadiran dan keberhasilan suatu organisme di dalam hidupnya adalah sangat tergantung pada lengkap tidaknya keadaan lingkungan yang komplek dimana organisme tersebut berada. Ketiadaan atau kegagalan suatu organisme dapat dikendalikan oleh kekurangan atau kelebihan baik secara kualitatif maupun kuantitatif salah satu dari beberapa faktor yang mungkin mendekati batas-batas toleransi organisme tersebut.

Berbeda halnya dengan hukum minimum Liebig, dimana jumlah komponen yang terlalu sedikit dapat merupakan faktor pembatas bagi kehidupan, akan tetapi dalam keadaan yang terlalu banyak faktor tersebut juga dapat bersifat membatasi, seperti misalnya faktor panas, sinar, air dan lain sebagainya. Jadi setiap organisme akan menghadapi kondisi maksimum dan minimum secara ekologi, dimana kisaran yang berada diantara dua titik (maksimum dan minimum) dikenal dengan batas-batas toleransi.

Odum (1971) mengemukakan bahwa konsep pengaruh yang membatasi dari keadaan maksimum ke minimum atau sebaliknya telah diperkenalkan melalui "*hukum toleransi*" oleh V.E. Shelford pada tahun 1913. Beberapa azas tambahan yang terkait dengan hukum toleransi adalah sebagai berikut :

- a) Organisme dapat memiliki kisaran toleransi yang lebar bagi satu faktor dan kisaran yang sempit untuk faktor lainnya.
- b) Organisme dengan kisaran toleransi yang luas untuk semua faktor akan mempunyai daerah penyebaran yang luas pula.

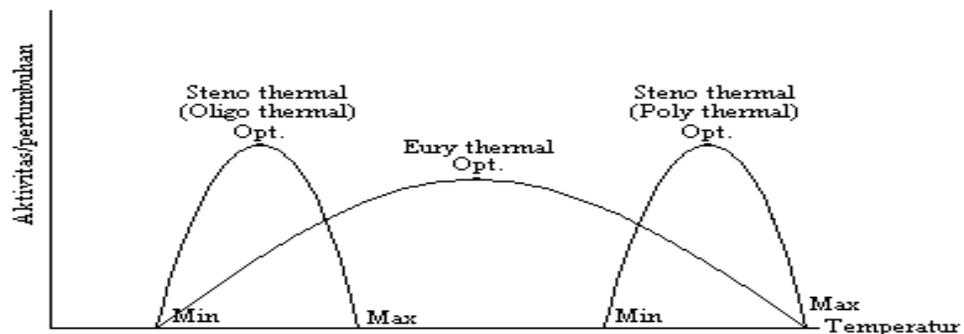
- c) Dalam keadaan tidak optimal, batas toleransi terhadap suatu faktor dapat berubah yang diakibatkan kondisi faktor lainnya.
- d) Seringkali ditemukan bahwa organisme-organisme di alam sebenarnya tidak hidup pada kondisi optimal yang disebabkan oleh adanya faktor fisik tertentu.
- e) Periode reproduksi pada umumnya merupakan periode waktu yang rawan apabila faktor-faktor lingkungan bersifat membatasi.

Berkaitan dengan hukum toleransi ini maka dikenal dua istilah penting, yaitu:

- a) Steno  $\longrightarrow$  berarti sempit
- b) Eury  $\longrightarrow$  berarti lebar

Penggunaan istilah tersebut seperti misalnya pada :

- Steno thermal - Eury thermal  $\longrightarrow$  berkaitan dengan temperatur
- Steno halin - Eury halin  $\longrightarrow$  berkaitan dengan garam
- Steno hydrik - Eury hydrik  $\longrightarrow$  berkaitan dengan air



**Gambar 3.1.** Perbandingan batas toleransi nisbi organisme Steno thermal dan Eury thermal

Kehadiran dan keberhasilan suatu organisme atau golongan organisme adalah sangat tergantung pada keadaan ekosistem atau lingkungan ekologi yang ada. Keadaan ekosistem yang melampaui batas-batas toleransi sering juga disebut dengan faktor pembatas. Dengan demikian, penggabungan gagasan minimum oleh Liebig dan konsep batas-batas toleransi akan menghasilkan konsep yang bersifat lebih umum dan berkaitan dengan faktor-faktor pembatas. Lebih lanjut dapat dikemukakan bahwa organisme di alam dikendalikan oleh :

- a) Jumlah dan keragaman material yang merupakan kebutuhan minim dan faktor-faktor yang sangat berpengaruh lainnya.
- b) Batas-batas toleransi organisasi itu sendiri terhadap keadaan yang ada dan komponen-komponen lingkungan lainnya.

Sinar, temperatur dan air secara ekologi merupakan faktor lingkungan penting di perairan, sedangkan kadar garam menjadi penting di laut dan oksigen menjadi faktor penting pada perairan air tawar. Dengan kata lain, di dalam semua lingkungan, sifat kimia dan laju pendauran hara-hara mineral pokok adalah merupakan hal yang utama untuk diperhatikan.

Organisme-organisme tidak hanya beradaptasi terhadap lingkungan fisik dalam arti mentoleransinya, tetapi mereka memanfaatkan periodisitas alam dalam lingkungan fisik untuk mengatur waktu kegiatan dan memprogram kegiatan hidupnya, sehingga memperoleh keuntungan dari keadaan tersebut. Oleh karena itu, beberapa faktor lingkungan fisik penting yang perannya besar bagi kehidupan perlu untuk selalu mendapat perhatian, yaitu :

- a) Temperatur
- b) Radiasi (sinar)
- c) Air
- d) Temperatur dan kelembaban (secara bersama-sama)
- e) Gas-gas atmosfer
- f) Garam-garam biogenik (hara makro dan hara mikro)
- g) Tanah, dan lain sebagainya.

Faktor-faktor ekologi tersebut sebenarnya dapat dengan tepat dipergunakan organisme-organisme didalam mengenal keadaan baru dan menilai daerah-daerah yang luas. Dalam hal ini terdapat beberapa pertimbangan penting yang harus diingat, apabila membicarakan indikator-indikator ekologi, yaitu :

- a) Pada umumnya organisme kelompok "steno" merupakan indikator yang lebih baik dari pada jenis "eury", karena seringkali tidak merupakan jenis yang terbanyak di dalam komunitas.
- b) Jenis besar biasanya merupakan indikator yang lebih baik jika dibandingkan dengan jenis kecil, sebab biomass atau *standing crop* yang lebih besar dan lebih mantap dapat ditunjang dengan arus energi tertentu.

- c) Sebelum menentukan suatu jenis/golongan sebagai indikator, seharusnya didukung bukti-bukti lapangan dan apabila mungkin adalah hasil percobaan yang menunjukkan bahwa faktor tersebut adalah membatasi.
- d) Adanya hubungan yang lebih banyak antara jenis, populasi dan seluruh komunitas seringkali memberikan indikator yang lebih dapat dipercaya dari pada satu jenis secara tunggal, karena integrasi keadaan yang lebih baik dicerminkan oleh keseluruhan dari pada oleh sebagian.

Dalam bidang perikanan, baik penangkapan maupun budidaya, pengetahuan tentang konsep factor pembatas (*limiting factors*), yaitu *Hukum Minimum Liebig* dan *Hukum Toleransi Shelford*, sangat diperlukan untuk mendukung keberhasilan usahanya. Ikan sebagai obyek dalam kegiatan perikanan, hidup dan kehidupannya tergantung pada media hidupnya yaitu kondisi lingkungan perairan. Kondisi lingkungan perairan ditentukan oleh fisika, kimia, dan biologinya. Di alam, factor-faktor tersebut secara dinamis dan rumit berinteraksi timbal balik satu dengan yang lainnya termasuk ikan. Dengan pesatnya kemajuan IPTEK di bidang perikanan, pola interaksi tersebut dicoba dipahami dan selanjutnya dikontrol. Namun demikian, fenomena-fenomena di alam yang seringkali terjadi, baik yang merugikan maupun yang menguntungkan kegiatan perikanan, masih banyak yang sulit untuk dijelaskan secara ilmiah. Hal ini menggambarkan begitu kompleksnya pola interaksi antara komponen-komponen pembentuk ekosistem.

Dalam kegiatan budidaya perikanan, sebagai contoh, sifat reproduksi dari ikan sidat jenis *Anguilla* spp. belum sepenuhnya berhasil dipahami dan dikontrol melalui aplikasi teknologi (Lin *et al.*, 1991; Beullens *et al.*, 1997). Pembenuhan beberapa spesies ikan laut masih menghadapi kendala utama, yaitu rendahnya tingkat kelulusan hidup (*Survival Rate*) pada stadia larva. Permasalahan gagalnya budidaya udang windu (*Penaeus monodon*) karena penyakit yang telah dirasakan oleh para petambak di Indonesia sejak awal tahun '90-an hingga sekarang. Di perairan tawar, budidaya jaring apung di waduk Saguling dan Cirata sering mengalami kematian massal pada awal musim penghujan. Contoh-contoh kejadian tersebut, pada dasarnya, merupakan hasil dari interaksi komponen-komponen dalam ekosistem yang berlangsung secara tidak seimbang dan ketidak-seimbangan tersebut justru ditimbulkan oleh kegiatan budidaya itu sendiri.

Namun demikian, di sisi lain, banyak juga keberhasilan yang telah dicapai dalam bidang budidaya perikanan berkat pemahaman terhadap pola interaksi antara ikan yang diusahakan dengan lingkungannya, baik biotis maupun abiotis. Lele dumbo (*Clarias gariepinus*), sebagai contoh, pertama kali diperkenalkan di Indonesia belum dapat

dilakukan pengendalian terhadap proses perkembang biakannya. Melalui pemahaman terhadap pola hubungan antara perkembangan gonad (aspek biotis) dengan temperatur dan panjang hari (*day length*) maka masalah tersebut dapat diatasi, yaitu perkembang biakan *C. gariepinus* dapat dikontrol dengan memanipulasi kedua parameter tersebut. Budidaya udang intensif dengan penggunaan kincir merupakan salah satu contoh yang sering dapat ditemui di Indonesia merupakan pemahaman pola hubungan konsentrasi oksigen terlarut dengan kehidupan udang. Boyd (1990), menyajikan dinamika dan perhitungan kebutuhan oksigen terlarut secara rinci dalam kegiatan budidaya. Dalam aspek pengelolaan sumberdaya, penebaran ikan (*restocking* dan *stocking*) di beberapa perairan umum di Indonesia telah sukses meningkatkan populasi jenis ikan tertentu di alam. Keberhasilan ini sangat didukung oleh ketersediaan informasi tentang karakteristik lingkungan perairan yang akan ditebari dan informasi tentang biologi dan persyaratan hidup dari ikan yang akan ditebar.

## **3.2. Komunitas dan populasi**

### **3.2.1. Sifat Populasi**

Populasi didefinisikan sebagai kelompok kolektif organisme-organisme dari spesies yang sama dan menduduki ruang atau tempat tertentu, memiliki ciri atau sifat yang merupakan milik yang unik dari kelompok dan tidak merupakan sifat milik individu di dalam kelompok itu. Dengan kata lain, di dalam membahas suatu populasi kita tidak bisa lepas untuk membicarakan individu yang membentuk populasi tersebut. Beberapa sifat tersebut adalah kerapatan, natalitas (laju kelahiran), mortalitas (laju kematian), penyebaran umur, potensi biotik, despersi dan bentuk pertumbuhan atau perkembangan. Pada dasarnya sifat-sifat populasi tersebut dapat dipandang dalam dua katagori (Odum, 1971 dan Nybakken, 1992), yaitu :

- a) Sifat-sifat yang berkaitan dengan hubungan numerikal dan struktur
- b) Tiga sifat genetik umum.

Kerapatan populasi adalah besarnya populasi yang dikaitkan dengan satuan ruang, seperti misalnya 5 juta diatome per m<sup>3</sup> air atau 1.000 kg ikan per km<sup>2</sup> permukaan air. Dengan demikian, di dalam mengkaji suatu populasi, kerapatan populasi seringkali merupakan ciri populasi yang pertama mendapat perhatian. Hal ini berkaitan dengan pengaruh populasi terhadap komunitas dan ekosistem tidak

hanya tergantung pada jenis organisme apa yang terlibat, akan tetapi juga tergantung pada jumlahnya atau kerapatan populasinya.

Kelahiran dan natalitas adalah kemampuan yang sudah merupakan sifat suatu populasi untuk bertambah. Keadaan ini adalah meliputi produksi individu-individu baru baik yang dilahirkan, ditetaskan, ditumbuhkan, timbul karena pembelahan dan lain sebagainya.

Sementara kematian (mortalitas) adalah kematian individu di dalam populasi, dan ini merupakan kebalikan dari natalitas. Seperti halnya natalitas, mortalitas dapat dinyatakan sebagai individu yang mati dalam kurung waktu tertentu.

Penyebaran umur merupakan ciri atau sifat penting populasi yang mempengaruhi natalitas dan mortalitas. Dalam hal ini, nisbah dari berbagai kelompok umur dalam suatu populasi menentukan status reproduksi yang sedang berlangsung dari populasi dan sekaligus menunjukkan kemungkinan-kemungkinan yang terjadi di masa yang akan datang.

Populasi mempunyai pola pertambahan yang khas dan disebut dengan bentuk pertumbuhan populasi. Bentuk pertumbuhan populasi pada dasarnya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

a) Bentuk pertumbuhan berbentuk J

Pada bentuk ini, kerapatan bertambah dengan cepat secara eksponensial dan kemudian berhenti secara mendadak karena adanya hambatan lingkungan atau pembatas lain.

b) Bentuk pertumbuhan berbentuk S

Pada bentuk sigmoid, populasi mula-mula bertambah secara perlahan-lahan dan kemudian menjadi lebih cepat, akan tetapi kemudian dilanjutkan dengan pertumbuhan yang semakin lambat secara berangsur-angsur yang diakibatkan karena hambatan lingkungan yang meningkat. Bentuk pertumbuhan ini dapat disajikan dengan model logistik sebagai berikut :

$$\frac{dN}{dt} = rN \frac{(K - N)}{K}$$

K merupakan asimtot atas dari kurva sigmoid yang sering juga disebut dengan daya dukung (*carrying capacity*).

Di dalam ekosistem yang mempunyai keanekaragaman rendah dan mengalami tekanan secara fisik atau dalam ekosistem yang menjadi sasaran gangguan luar yang tidak dapat diduga, maka populasi tersebut cenderung diatur oleh komponen-komponen fisik seperti cuaca, arus air, faktor kimia yang membatasi, pencemaran dan lain sebagainya. Dalam ekosistem yang mempunyai keanekaragaman tinggi atau yang tidak mengalami penekanan secara fisik, maka populasinya cenderung untuk dikendalikan secara biologi. Didalam semua ekosistem terdapat kecenderungan yang kuat bagi semua populasi berkembang lewat seleksi alam menuju kearah pengaturan diri. Teori yang berkaitan dengan kondisi ini adalah :

a) Ketidak tergantungan pada kepadatan

Hal ini berkaitan apabila pengaruhnya tidak tergantung pada besarnya populasi.

b) Ketergantungan pada kepadatan

Apabila pengaruhnya pada populasi merupakan fungsi dari kepadatan. Faktor ketergantungan pada kepadatan dapat langsung bertindak seperti mengatur kepadatan dan untuk alasan ini dianggap salah satu unsur utama didalam menghindari kelebihan populasi.

Penyebaran populasi di alam pada dasarnya dapat di kelompokkan menjadi tiga, yaitu :

a) Pola acak

b) Pola seragam

c) Pola bergerombol (tidak teratur dan tidak teracak).

Sementara tipe interaksi antar jenis (spesies) dalam suatu populasi juga berbeda-beda, dan interaksi ini telah dikemukakan oleh Burkholder (1952) yang terdiri dari 9 (sembilan) interaksi penting, yaitu :

a) *Neutrolisme* : Tidak ada satupun populasi yang terpengaruh oleh asosiasi dengan yang lain

b) *Mutual Inhibition Competition* : Tipe persaingan yang saling menghalangi

c) *Persaingan penggunaan sumberdaya* : Meningkatkan terjadinya pengaruh merugikan bagi yang lain dalam upaya memperoleh sumber-sumber persediaan

- d) *Amensalisme* : Suatu populasi dihalang-halangi sedangkan yang lainnya tidak terpengaruh
- e) *Parasitisme* : Suatu populasi merugikan yang lain dengan cara menyerang secara langsung
- f) *Predator* : Suatu populasi merugikan yang lain dengan cara menyerang secara langsung
- g) *Comensalisme* : Satu populasi diuntungkan sedangkan yang lain tidak terpengaruh
- h) *Protocooperation* : Kedua populasi memperoleh keuntungan dengan adanya kerjasama tersebut, akan tetapi hubungan yang terjadi tidak merupakan keharusan
- i) *Mutualisme* : Pertumbuhan dan kehidupan kedua organisme tersebut mendapat keuntungan dan tidak satupun dapat hidup di alam tanpa yang lainnya

### **3.2.2. Konsep Komunitas**

Konsep komunitas adalah salah satu dari azas-azas dalam pemikiran dan praktek ekologi yang paling penting, sebab apa yang terjadi dengan komunitas akan dialami juga oleh organisme. Sehingga dengan demikian, mengubah komunitas seringkali merupakan cara yang efektif di dalam mengendalikan organisme. Dengan kata lain, komunitas adalah merupakan kumpulan populasi-populasi apa saja yang hidup dalam suatu daerah atau habitat fisik yang telah ditentukan. Hal tersebut merupakan satuan yang diorganisir sedemikian, bahwa dia mempunyai sifat-sifat tambahan terhadap komponen-komponen individu dan fungsi-fungsi sebagai suatu unit melalui transformasi metabolik yang bergandengan.

Tidak semua organisme dalam komunitas sama artinya atau pentingnya dalam menentukan alam dari seluruh komunitas, atau ratusan atau ribuan organisme yang mungkin terdapat dalam suatu komunitas, hanya sedikit organisme yang berperan sebagai pengendali utama berdasarkan jumlahnya, besarnya, produksi atau kegiatan lainnya. Jenis atau golongan organisme yang sebagian besar mengendalikan arus energi dan kuat sekali mempengaruhi lingkungan dibandingkan dengan jenis lainnya disebut dengan "dominan-dominan ekologi", yang kemudian dapat dinyatakan sebagai indek dominan.

Komunitas pada dasarnya dapat diklasifikasikan menurut :

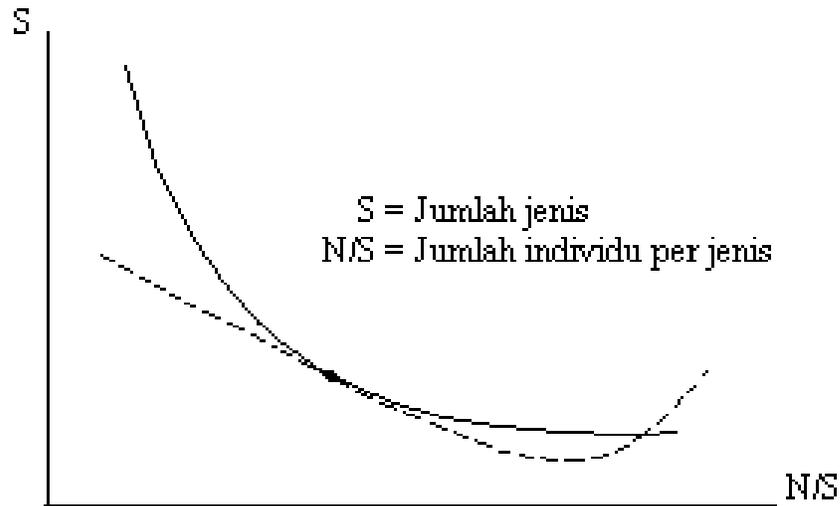
- a) Bentuk atau sifat struktur utama, seperti misalnya jenis dominan, bentuk-bentuk hidup atau indikator-indikator.
- b) Habitat fisik dari komunitas.
- c) Sifat-sifat atau tanda-tanda fungsional seperti misalnya tipe metabolisme komunitas.

Hubungan umum antara jenis dan jumlah dalam suatu komunitas dapat digambarkan sebagai kurva cekung, seperti dapat dilihat melalui **Gambar 3.2**. Dalam hal ini tekanan akan cenderung meratakan kurva, yang diakibatkan semakin berkurangnya jenis yang langka, dan untuk menganalisa keragaman jenis dalam keadaan yang berlainan dapat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu :

- a) Perbandingan yang berdasarkan pada bentuk, pola atau persamaan kurva banyaknya jenis.
- b) Perbandingan yang didasarkan pada indek keanekaragaman.

Secara alami, keanekaragaman yang lebih tinggi menunjukkan rantai makanan yang semakin panjang dan lebih banyak terjadinya simbiosis, baik mutualisme, parasitisme, komensalisme dan lain sebagainya. Disinilah struktur yang diakibatkan oleh penyebaran organisme dan interaksinya dengan lingkungan dikenal dengan sebutan "pola" (Hutchinson dalam Odun, 1971).

Komunitas dan ekosistem mempunyai tingkatan trofik yang sama di seluruh biosfer, tetapi species penyusun masing-masing komunitas dan ekosistem adalah berbeda sesuai dengan daerah geografisnya. Di suatu lokasi, dapat saja setiap tingkatan mempunyai lebih sedikit atau lebih banyak species dibandingkan dengan daerah lainnya. Ini menunjukkan bahwa species yang sama secara ekologis, secara geografis dapat saling mengganti dan oleh karena itu struktur species dari komunitas bervariasi walaupun struktur trofiknya tidak demikian. Sebagai contoh komunitas ikan di daerah tropis mempunyai banyak spesies, sedangkan di daerah beriklim sedang (sub tropis) terdiri dari lebih sedikit species. Jenis ikan tersebut berbeda speciesnya, akan tetapi secara ekologi memainkan peranan yang serupa yaitu sebagai konsumen atau kelompok organisme heterotrof. Begitu pula dengan komunitas fitoplanktonnya, yaitu berbeda jenis dan jumlahnya, akan tetapi mempunyai peran ekologis yang sama yaitu sebagai produser primer di perairan atau merupakan kelompok organisme autotrof.



**Gambar 3.2.** Hubungan antara jumlah jenis dan jumlah individu per jenis.

Species yang sama secara ekologi adalah species yang melakukan fungsi atau peranan yang sama dalam suatu komunitas tertentu atau sering juga disebut dengan "*Ecological niche*" yang sama. Ecological niche ini dapat sempit dan dapat pula luas, dimana ecological niche yang sempit berarti peranan atau fungsi di dalam komunitas telah terbagi-bagi sehingga menjadi sempit, dan species menjadi lebih terspesialisasi. Sebaliknya pada ecological niche yang luas, berarti fungsi di dalam komunitas bersifat lebih umum (Nybakken, 1992).

Pada umumnya, komunitas mempunyai struktur yang khas terdiri dari beberapa species yang berlimpah jumlahnya dan sejumlah besar species yang masing-masing jumlah individunya sedikit. Species yang jumlah individunya berlimpah disebut "*dominan*" dan biasanya dipakai sebagai ciri khas dari suatu komunitas. Struktur species dalam suatu komunitas dapat diukur dengan berbagai cara, seperti misalnya "*Kekayaan Species*" yang merupakan cara pengukuran sederhana jumlah species yang terdapat dalam suatu komunitas atau tingkatan trofik. "*Diversitas species*" adalah suatu cara pengukuran dengan memadukan jumlah species (kekayaan species) dan penyebaran jumlah individu diantara species (pemerataan). Diversitas species dinyatakan secara matematik dengan berbagai indeks diversitas, dimana nilai diversitas yang tinggi biasanya dipakai sebagai

petunjuk lingkungan yang nyaman dan stabil. Sedangkan nilai yang rendah menunjukkan kondisi lingkungan yang menyesak dan cenderung tidak stabil atau mempunyai tekanan secara ekologis.

Setiap species dalam komunitas mempunyai daya toleransi tertentu terhadap tiap-tiap faktor dan semua faktor lingkungan. Apabila pada suatu daerah terdapat faktor lingkungan seperti misalnya suhu yang melampaui batas toleransi suatu species, maka pada daerah ini tidak akan dijumpai species tersebut. Disamping itu seperti telah dikemukakan sebelumnya bahwa setiap species juga mempunyai kebutuhan minimum terhadap berbagai unsur. Dan apabila konsentrasi unsur yang dibutuhkan ini misalnya nitrat, jumlahnya berada dibawah kebutuhan minimum spesies, maka spesies tersebut akan hilang. Hal ini dapat terjadi walaupun semua faktor lingkungan maupun unsur-unsur yang lain berada pada kondisi yang memenuhi syarat.

Selanjutnya dapat dikemukakan bahwa suatu komunitas bukanlah merupakan satu kesatuan yang bersifat statis. Struktur dan komposisinya akan berubah-ubah sesuai dengan perubahan musim maupun dengan berjalannya waktu. Komunitas daratan mempunyai kecenderungan untuk berubah secara teratur dalam jangka waktu bertahun-tahun sampai dicapainya suatu keadaan yang memungkinkan komunitas tersebut bertahan secara terus-menerus selama iklim tidak berubah atau tidak adanya gangguan.

Dalam urutan peristiwa seperti ini, setiap komunitas akan berubah dan selanjutnya akan menyesuaikan terhadap lingkungannya bagi komunitas berikutnya. Perubahan komunitas yang prosesnya teratur dan dikendalikan melalui perubahan lingkungan fisik disebut "suksesi ekologi" dan komunitas yang menjadi akhir peristiwa tersebut dan berwujud lestari dikenal dengan "klimaks"

Disamping itu, dikenal pula istilah Ekotone yang merupakan peralihan antara dua atau lebih komunitas yang berbeda. Sebagai contoh adalah antara komunitas perairan asin (laut) dengan komunitas perairan tawar. Daerah ini adalah daerah pertemuan yang dapat terbentang luas, akan tetapi lebih sempit dibandingkan dengan komunitas di sekitarnya itu sendiri. Komunitas ekotone pada umumnya terdiri dari organisme dari masing-masing komunitas pembentuknya yang sering tumpang tindih serta organisme-organisme yang khas dan seringkali terbatas hanya pada ekotone. Di daerah ekotone seringkali jumlah jenis dan kepadatan populasi dari beberapa jenis adalah lebih besar dibandingkan pada komunitas

yang mengapitnya. Kecenderungan meningkatnya keanekaragaman dan kepadatan pada pertemuan komunitas dikenal sebagai pengaruh tepi (Edge Effect).

Populasi, komunitas dan ekosistem diatur oleh berbagai faktor, dimana faktor utama yang mengendalikan komunitas dan ekosistem adalah energi, faktor fisik yang secara kolektif dikenal dengan iklim atau lingkungan dan interaksi antara berbagai spesies yang membentuk sistem tersebut. Pada akhirnya hampir semua sistem di muka bumi akan dibatasi oleh jumlah energi matahari yang tersedia. Akan tetapi batas toleransi berbagai spesies terhadap faktor abiotik seperti misalnya suhu, cahaya, nutrient dan salinitas juga akan membatasi besarnya populasi maupun komunitas di perairan. Aspek terakhir dari pengaturan dan pengendalian yang diperhatikan di sini adalah aspek yang berhubungan dengan interaksi antara populasi yang bekerja untuk menjaga populasi tetap dalam batas-batasnya.

### **3.3. Perkembangan Ekosistem**

Habitat suatu organisme adalah tempat organisme itu hidup, sedangkan niche (relung) ekologi merupakan istilah yang lebih luas lagi artinya termasuk tidak hanya ruang fisik yang diduduki organisme tersebut, tetapi juga peranan fungsionalnya serta posisinya di dalam gradient suhu, kelembaban, pH, tanah dan keadaan lainnya.

Perubahan-perubahan yang terjadi dalam komunitas dapat dengan mudah diamati dan sering kali perubahan itu berupa pergantian satu komunitas oleh komunitas lainnya. Hal ini dapat dilihat misalnya pada sepetak tambak yang setelah panen ditinggalkan dan tidak ditebari benih ikan/udang lagi. Pada Petakan tambak tersebut akan bermunculan berbagai jenis organisme maupun ikan-ikan liar yang membentuk komunitas baru. Apabila tambak tersebut dibiarkan cukup lama, dalam komunitas yang terbentuk dari waktu ke waktu akan terjadi pergantian komposisi jenis. Bila diamati dalam kurun waktu tertentu, akan terlihat bahwa komunitas yang terbentuk pada akhir kurun waktu tersebut akan berbeda baik komposisi jenis maupun strukturnya dibandingkan dengan komunitas yang terbentuk pada awal pengamatan. Dan apabila tidak terjadi gangguan apapun selama proses tersebut, maka akan terlihat bahwa perubahan itu berlangsung ke satu arah dan berakhir dengan sebuah komunitas atau ekosistem yang disebut klimaks.

### 3.3.1. Strategi Perkembangan Ekosistem

Perkembangan ekosistem atau dikenal dengan suksesi ekologi dapat dilihat dari tiga parameter, yaitu :

- a) Suatu proses perkembangan komunitas yang teratur yang meliputi perubahan-perubahan dalam struktur jenis dan proses-proses komunitas dengan waktu. Hal ini agak terarah dan karenanya dapat diramalkan.
- b) Suatu proses perkembangan yang diakibatkan oleh perubahan lingkungan fisik. Walaupun lingkungan fisik menentukan polanya, laju dari perubahan komunitas sering menetapkan batas-batas seperti misalnya berapa jauh perkembangan itu dapat berlangsung.
- c) Proses perkembangan memuncak dalam ekosistem yang dimantapkan pada biomass maksimum dan fungsi secara simbiotik antara makhluk hidup persatuan arus energi yang tersedia.

Pengkajian suksesi secara deskriptif akan mengikuti hukum energi maksimum dalam biologi. Menurut Lotka dalam Odum (1971) dikemukakan bahwa suksesi menyangkut pergeseran dalam arus energi, dan energi yang ditingkatkan untuk keperluan pemeliharaan.

Konsep yang menyatakan bahwa suksesi berlangsung secara teratur, pasti, terarah, dapat diramalkan dan berakhir dengan komunitas klimaks adalah merupakan konsep lama yang sampai saat ini masih relevan keberadaannya. Suksesi dalam ekologi pada konsep modern adalah tidak lebih dari pergantian jenis-jenis pioner oleh jenis-jenis yang lebih mantap dan dapat menyesuaikan secara lebih baik dengan lingkungannya. Dalam perubahan lebih lanjut tentang suksesi ini, dikenal adanya suksesi primer dan suksesi sekunder.

#### A. Suksesi Primer

Menurut Resosoedarmo dkk (1993) dikemukakan bahwa suksesi primer terjadi apabila komunitas asal mengalami gangguan, dan gangguan ini mengakibatkan hilangnya komunitas asal secara total, sehingga di lokasi komunitas asal tersebut terbentuk habitat baru. Gangguan seperti ini dapat terjadi secara alami seperti misalnya tanah longsor, gunung meletus dan lain sebagainya dan dapat juga karena dibuat oleh manusia seperti pembukaan

areal baru untuk kegiatan budidaya, penambangan batu bara, emas, pembangunan jalan dan lain sebagainya.

Organisme yang pertama kali mampu menghuni habitat baru tersebut adalah yang tergolong dalam jenis pelopor dan mempunyai batas toleransi yang lebar (eury) terhadap berbagai faktor lingkungan. Habitat baru ini adalah merupakan habitat yang ekstrim dalam arti tempatnya yang relatif terbuka, cahaya matahari penuh, temperatur tinggi pada siang hari dan lebih rendah pada malam hari, dampak air hujan yang tinggi, unsur hara masih terikat pada batuan dan lain sebagainya. Pada habitat yang demikian, organisme yang dapat hidup umumnya adalah dari kelompok ganggang dan lumut. Hal ini disebabkan karena kelompok ini mampu melakukan pelapukan batu-batuan menjadi senyawa kimia yang dapat larut dalam air, untuk kemudian dapat dimanfaatkan oleh jenis tumbuhan lain.

Proses diatas berjalan terus dan secara berangsur-angsur komunitas dan habitatnya berubah. Perubahan yang terjadi selama proses suksesi ini dapat diringkas sebagai berikut :

- a) Terjadinya perkembangan sifat-sifat substrat yang progresif seperti misalnya penambahan kandungan bahan organik sejalan dengan perkembangan komunitas yang semakin kompleks, dengan komposisi jenis yang semakin beraneka ragam dari pada sebelumnya.
- b) Pertambahan kepadatan dan semakin kompleksnya struktur komunitas mengakibatkan di dalam komunitas tersebut terbentuk lapisan-lapisan (stratifikasi).
- c) Peningkatan produktivitas sejalan dengan perkembangan komunitas.
- d) Peningkatan jumlah jenis (keaneka ragaman jenis) sampai tahap tertentu dari suksesi.
- e) Peningkatan pemanfaatan sumberdaya lingkungan sesuai dengan peningkatan jumlah jenis.
- f) Perubahan iklim mikro sesuai dengan perubahan komposisi jenis bentuk hidup tumbuhan dan struktur komunitas.
- g) Komunitas berkembang menjadi lebih kompleks.

Kecenderungan meningkatnya keaneka ragaman jenis selama suksesi paling tidak pada tahap-tahap awal adalah merupakan pola umum dalam semua ekosistem. Pertambahan organisme heterotrof biasanya sangat nyata, sedangkan pertambahan mikro organisme lebih nyata lagi. Pada tahap-tahap berikutnya, dibandingkan dengan pada tahap-tahap awal. Keaneka ragaman maksimum autotrof biasanya tercapai lebih awal jika dibandingkan dengan heterotrof. Peningkatan keragaman jenis ini merupakan akibat dari semakin banyaknya bahan organik yang tersedia dan perkembangan komunitas yang pada gilirannya nanti menciptakan keaneka ragaman habitat dan relung.

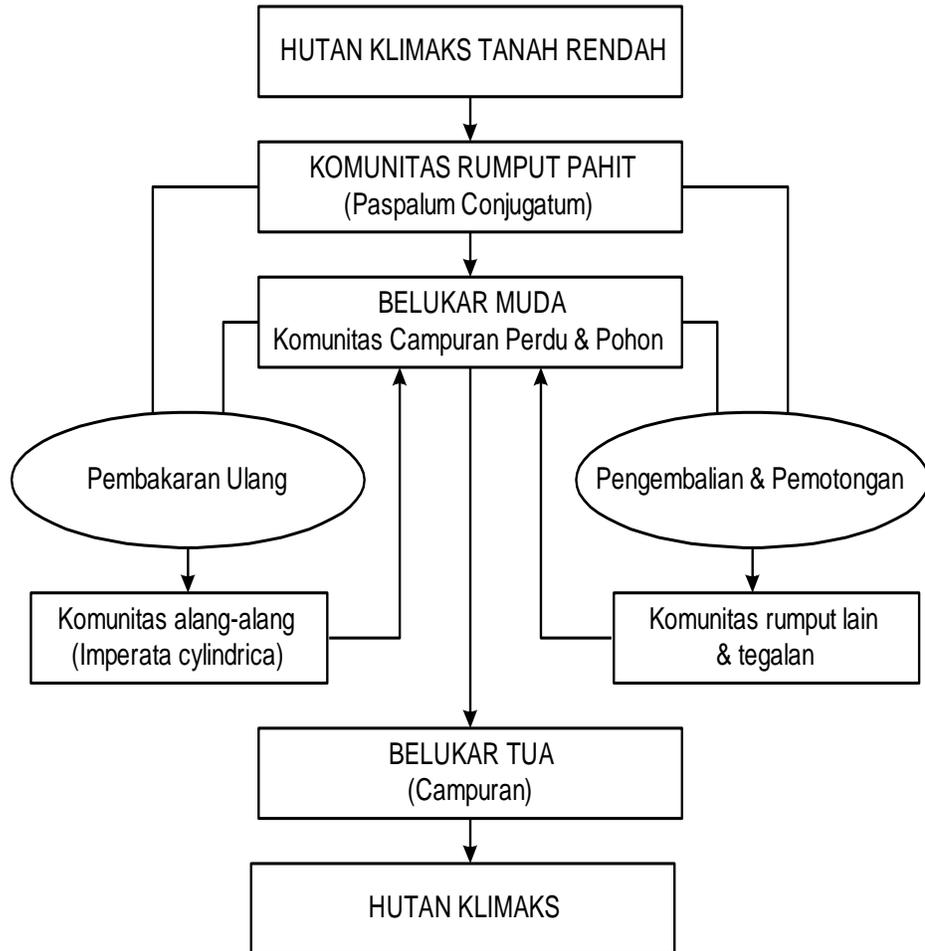
## B. Suksesi Sekunder

Apabila suatu komunitas atau ekosistem terganggu baik secara alami maupun buatan, dimana gangguan tersebut tidak mengakibatkan kerusakan secara total dari keadaan komunitas tersebut, maka suksesi yang terjadi dikenal dengan suksesi sekunder. Dengan kata lain, pada suksesi sekunder masih dijumpai adanya kehidupan Ionis yang ada pada habitat tersebut. Sedangkan proses dan faktor yang berperan dalam suksesi sekunder adalah sama dengan yang berlaku pada suksesi primer.

Pada suksesi primer, habitat awal terdiri atas substrat yang betul-betul baru, sehingga tumbuh-tumbuhan yang tumbuh pada tahap awal tersebut berasal dari biji dan benih yang berasal dari luar. Sedangkan pada suksesi sekunder, biji-biji dan benih bukan saja berasal dari luar, akan tetapi juga dapat berasal dari habitat itu sendiri.

Komunitas diatas dapat rusak secara total, akan tetapi tanahnya mungkin tidak atau walaupun rusak, rusaknya tidak secara total. Sehingga pada habitat tersebut masih terdapat biji-biji, benih dan tumbuhan sisa. Dengan hilangnya komunitas tumbuhan di bagian atas, maka tanah menjadi terbuka terhadap sinar matahari langsung dan curahan hujan. Kondisi ini mengakibatkan biji-biji jenis pioner yang terdapat di atas dan dalam tanah akan berkecambah.

Sampai saat ini belum ada penelitian tentang suksesi sekunder yang terperinci dan dimonitor dalam jangka panjang pada tempat yang sama seperti pada suksesi primer. Namun demikian, data yang berasal dari berbagai tempat dan diambil pada waktu yang berbeda di daerah iklim basah setelah ditebang habis dapat dilihat dalam **Gambar 3.3**.



**Gambar 3.3.** Garis besar suksesi di tanah rendah beriklim basah.  
Sumber : Resosoedarmo, dkk (1993).

### 3.3.2. Proses Perkembangan Ekosistem

Pada dasarnya perkembangan ekosistem dalam jangka panjang dibentuk/ ditentukan oleh beberapa hal, diantaranya yaitu:

- a) Kekuatan allogenisik seperti misalnya adanya perubahan-perubahan iklim dan geologi
- b) Proses autogenik yang diakibatkan oleh kegiatan komponen-komponen hidup didalam ekosistem itu sendiri.

Ekosistem yang pertama diperkirakan terjadi sekitar tiga juta tahun yang lalu. Ekosistem ini dihuni oleh heterotrof-heterotrof anaerobik yang kecil-kecil dan hidup dari bahan organik yang disintesis oleh proses-proses abiotik. Kemudian setelah itu, makhluk hidup berkembang ke dalam sistem-sistem yang lebih kompleks.

Dalam hal ini komunitas berubah secara evolusionis yang pada dasarnya melalui seleksi alam. Pada seleksi alam ini ada dua hal penting yang perlu diperhatikan yaitu :

- a) Ko-evolusi, yaitu seleksi kebalikan antara autotrof-autotrof dengan heterotrof-heterotrof yang sering tergantung.
- b) Seleksi kelompok atau seleksi komunitas yang menimbulkan pemeliharaan sifat-sifat yang baik untuk kelompok, sekalipun tidak menguntungkan sebagai pembawa genetik di dalam kelompok.

Saat ini telah diyakini bahwa ketika kehidupan mulai ada di bumi ( $\pm$  3 juta tahun yang lalu), atmosfer berisikan nitrogen, ammonia, hidrogen, karbon monoksida, metana, uap air dan tidak ada oksigen bebas (Berkner dan Marshall, 1964; Calvin, 1969 dalam Odum, 1971). Disamping itu atmosfer juga mengandung chlor, hidrogen sulfida dan gas-gas lain yang beracun bagi kebanyakan kehidupan saat ini. Komposisi atmosfer pada saat-saat awal tersebut sangat ditentukan oleh adanya gas-gas dari gunung berapi yang aktivitasnya lebih tinggi jika dibandingkan dengan sekarang.

Mengingat pada saat itu oksigen relatif terbatas, maka tidak ada lapisan ozon ( $O_2$  dirubah oleh radiasi gelombang pendek menjadi  $O_3$  yang pada gilirannya menghisap radiasi ultraviolet). Lapisan ozon ini dapat melindungi radiasi ultraviolet matahari yang mampu menembus sampai ke permukaan bumi (daratan dan air).

Radiasi ultraviolet ini dapat membunuh setiap kehidupan, akan tetapi disisi lain diduga radiasi ini yang menciptakan perubahan struktur kimia dan menghantarkan molekul-molekul organik yang kompleks seperti halnya atom-atom amino menjadi pembentuk kehidupan primitif.

Jumlah oksigen non-biologi yang dihasilkan oleh diasosiasi ultra violet dan uap air adalah sangat sedikit, akan tetapi mampu menyediakan ozon yang cukup untuk membentuk perlindungan terhadap radiasi ultra violet. Selama oksigen dan ozon atmosfer masih tetap langka, maka kehidupan hanya dapat berlangsung dan berkembang dibawah perlindungan penutupan air. Dengan demikian, makhluk-

mahluk hidup pertama adalah kelompok organisme-organisme anaerob perairan yang memperoleh energi untuk keperluan pernafasan dari proses fermentasi. Proses fermentasi sangat kurang efisien dibandingkan dengan respirasi oksidatif, oleh karena itu kehidupan primitif tidak dapat berkembang diatas tahap sel tunggal. Makhluk primitif ini juga mempunyai suplai bahan makanan yang sangat terbatas karena tergantung pada bahan-bahan organik yang tenggelam dan disintesa secara lambat oleh radiasi dalam lapisan-lapisan air.

Selanjutnya diduga bahwa langkanya makanan organik ini mengakibatkan tekanan seleksi yang mendorong terjadinya perkembangan proses fotosintesa. Penumpukan oksigen sedikit demi sedikit yang dihasilkan secara biologi dalam air dan difusinya kedalam atmosfer menimbulkan perubahan-perubahan yang sangat penting bagi geo-kimia bumi. Keadaan ini memungkinkan pengembangan yang cepat dari kehidupan dan perkembangan sistem-sistem hidup yang lebih besar dan lebih kompleks.

Banyak mineral seperti halnya besi diendapkan dari air dan membentuk bentukan-bentukan geologi yang khas. Sementara oksigen dalam atmosfer bertambah, maka lapisan ozon yang dibentuk di atmosfer juga semakin menebal, sehingga permukaan bumi menjadi terlindung dan kehidupan kemudian dapat bergerak ke permukaan laut.

Pada waktu yang bersamaan, respirasi aerobik memungkinkan berkembangnya mahluk-mahluk bersel banyak. Dan diperkirakan binatang bersel banyak pertama kali muncul ketika oksigen mencapai kurang lebih tiga persen dari kondisi sekarang (saat ini  $O_2$  adalah sekitar 21% dari atmosfer) atau diperkirakan waktunya adalah sekitar 600 juta tahun yang lalu yaitu pada permulaan masa kambium.

Selama masa kambium terjadi peledakan kehidupan baru seperti misalnya sponge, kerang-kerangan, cacing, ganggang laut dan lain sebagainya yang menjadi awal kehidupan tingkat tinggi. Disini kenyataan menunjukkan bahwa jenis tumbuhan hijau yang kecil dan berasal dari laut mampu menghasilkan oksigen yang berlebihan atau melebihi keperluan respirasi seluruh kehidupan yang ada di bumi pada waktu yang pendek. Dalam masa berikutnya, kehidupan tidak saja memenuhi laut, akan tetapi juga memasuki daratan. Sehingga dengan demikian juga berarti tumbuhnya vegetasi di daratan memberikan/menghasilkan lebih

banyak lagi oksigen dan makanan, untuk perkembangan berikutnya bagi kehidupan yang lebih besar seperti mamalia, manusia dan sebagainya.

Banyak ahli biologi percaya bahwa semua perubahan yang terjadi di alam dapat diterangkan di dalam kerangka teori seleksi-mutasi alam yang konvensional. Akan tetapi para ahli genetik dan ekologi lebih tertarik untuk mempelajari kemungkinan seleksi alam pada tingkat organisasi kehidupan yang lebih tinggi.

## **BAB IV      EKOLOGI PERAIRAN TAWAR**

### **4.1. Lingkungan Air Tawar**

Sampai saat ini materi yang berkaitan dengan lingkungan air tawar telah banyak diketahui secara detail, baik yang berkaitan dengan sejarah alamnya, ekologi maupun distribusinya. Hal ini disebabkan karena lingkungan air tawar lebih mudah dicapai untuk dipelajari, dibandingkan dengan perairan lainnya (MOSS, 1996). Lingkungan air tawar dapat ditemukan dimana mana, seperti misalnya di permukaan tanah maupun di bawah tanah.

Habitat air tawar pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua), yaitu :

- a) Habitat Lentik (air tergenang), seperti halnya danau, kolam, rawa dan lain sebagainya.
- b) Habitat Lotik (air mengalir), seperti misalnya mata air sungai dan lain sebagainya.

Terjadinya kedua bentuk habitat air tawar ini lebih disebabkan oleh adanya perubahan-perubahan geologis, disamping adanya proses biologis yang dapat membuat stabil dan/atau mengurangi laju proses pendangkalan danau dan erosi aliran air. Dalam hal ini, manusia cenderung mempercepat proses geologis dengan mengorbankan proses biologi, sehingga danau cenderung menjadi dangkal dan aliran air cenderung mengikis sungai. Seluruh kejadian ini pada akhirnya dapat mengakibatkan berubahnya pola kelakuan air, khususnya air tawar.

Pada umumnya perbedaan antara air mengalir (habitat lotik) dan air tergenang (habitat Lentik) adalah berkaitan dengan 3 (tiga) kondisi, yaitu :

- a) Arus adalah faktor yang paling mengendalikan dan merupakan faktor pembatas. Hal ini disebabkan oleh karena arus membuat kehidupan air tergenang dan mengalir menjadi sangat berbeda. Disamping itu, arus juga mengatur perbedaan di beberapa tempat dari suatu aliran air, dan kecepatan arus ditentukan oleh kemiringan, kekasaran, kedalaman dan kelebaran dasar.
- b) Pertukaran antara tanah dan air relatif lebih intensif pada air mengalir dan menghasilkan ekosistem yang lebih terbuka dan sistem metabolisme komunitas tipe hetrotrofik. Pada air mengalir kedalaman air dan potongan melintang adalah jauh

lebih kecil jika dibandingkan dengan danau yang airnya menggenang, sehingga pertemuan permukaan tanah - air relatif besar dalam proporsi dibandingkan dengan ukuran habitat air mengalir. Hal ini berarti bahwa air mengalir lebih erat hubungannya dengan tanah di sekitarnya, dibandingkan dengan kebanyakan habitat air tergenang.

- c) Tekanan oksigen biasanya lebih merata dalam air mengalir dan stratifikasi thermal maupun kimiawi dapat dikatakan tidak ada atau diabaikan. Lebih lanjut juga dapat dikemukakan bahwa air mengalir biasanya dangkal, dan karena luas permukaannya yang berhubungan dengan udara serta gerakan yang tetap, maka air mengalir pada umumnya mengandung oksigen dalam jumlah yang cukup. Oleh karena itu, organisme pada habitat air mengalir biasanya mempunyai toleransi yang sempit dan peka terhadap adanya kekurangan oksigen.

Sekalipun habitat air tawar hanya meliputi bagian terkecil dari permukaan bumi, akan tetapi sangat penting artinya bagi kehidupan manusia. Hal ini disebabkan oleh karena beberapa alasan, yaitu :

- a) Habitat air tawar merupakan sumber yang murah dan mudah dicapai atau didapat, baik untuk keperluan rumah tangga maupun keperluan industri termasuk di dalamnya industri perikanan.
- b) Komponen air tawar merupakan "bottle neck" dalam siklus hidrologi, artinya volume air tawar relatif sangat kecil dibandingkan dengan total volume air yang terlibat dalam siklus hidrologi
- c) Ekosistem air tawar merupakan wadah yang murah dan mudah untuk dicapai bagi sistem pembuangan limbah, dan keadaan ini sering kali disalah gunakan oleh manusia.

Di dalam mendalami ekologi perairan tawar, kiranya perlu diketahui adanya beberapa faktor penting yang juga merupakan faktor pembatas pada perairan tawar. Adapun faktor-faktor tersebut menurut Odum (1971) dan Moss (1996) adalah sebagai berikut :

#### **4.1.1. S u h u**

Air mempunyai beberapa sifat unik berkaitan dengan panas yang secara bersama-sama mengurangi perubahan suhu sampai pada tingkat minimal, sehingga perbedaan suhu dalam air lebih kecil dan perubahannya lebih lambat jika dibandingkan dengan yang terjadi di udara. Keunikan dari sifat thermal tersebut, yaitu:

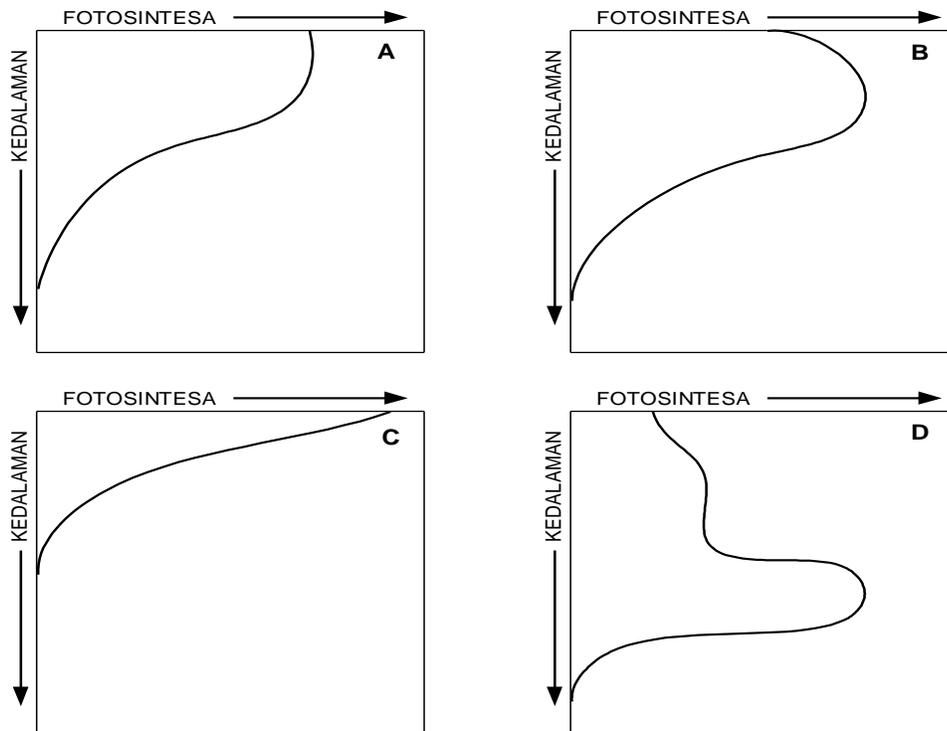
- a) Panas jenis yang tinggi, artinya diperlukan panas yang relatif banyak untuk menaikkan suhu air 1°C dibutuhkan panas 1 kalori.
- b) Panas pelelehan yang tinggi, sehingga untuk melelehkan 1 gram es menjadi air dibutuhkan 80 gram kalori.
- c) Panas penguapan yang tinggi, atau dibutuhkan 566 gram kalori untuk menguapkan 1 gram air.
- d) Berat jenis air maksimal, terjadi pada suhu sekitar 3,98°C. Di bawah atau di atas suhu tersebut, air akan memuai yang mengakibatkan air menjadi lebih ringan. Sifat ini mengakibatkan air pada danau-danau bermusim dingin tidak membeku seluruhnya tetapi hanya di bagian permukaannya. Dengan demikian, masih memungkinkan adanya kehidupan organisme akuatik di perairan pada saat musim dingin (*winter season*).

Kondisi suhu suatu perairan erat kaitannya dengan penyinaran matahari. Suhu perairan dan intensitas cahaya matahari di suatu perairan mempunyai hubungan timbal balik dengan populasi phytoplankton. Interaksi timbal balik antara intensitas cahaya matahari dapat berupa umpan balik negatif ataupun positif. Hubungan parameter-parameter tersebut dapat dilihat dalam **Gambar 4.1**.

Dari **Gambar** tersebut tampak bahwa pada grafik (A) Permukaan perairan jenuh cahaya dan suhu relatif tinggi tetapi tidak menghambat pertumbuhan phytoplankton. Grafik (B) suhu di permukaan perairan dan intensitas cahaya matahari telah mencapai tingkat menghambat perkembangan phytoplankton. Grafik (C) menunjukkan suatu perairan dengan tingkat kekeruhan tinggi sehingga populasi phytoplankton hanya ditemukan sampai kedalaman tertentu yang tidak terlalu dalam karena tidak ada penetrasi sinar matahari dan (D) menunjukkan fotosintesa maksimum terjadi di lapisan metalimnion.

#### **4.1.2. Transparansi**

Transparansi atau di bidang perikanan sering dikenal dengan sebutan kecerahan adalah sifat fisika air yang berhubungan dengan kekuatan penetrasi (intensitas) cahaya matahari ke dalam suatu perairan. Penetrasi cahaya matahari sering dirintangi oleh partikel-partikel yang terdapat dalam air baik yang tersuspensi maupun yang terlarut, dan dapat mengurangi tebalnya lapisan fotosintetik di perairan berkedalaman cukup. Dengan demikian transparansi perairan sering menjadi faktor pembatas pada suatu perairan.



**Gambar 4.1.** Beberapa Jenis Penyebaran Vertikal Kepadatan Phytoplankton Hubungannya dengan Intensitas Cahay Matahari dan Suhu

Transparansi diukur dengan menggunakan "piring Secchi" yang konsep kerjanya merupakan wilayah penetrasi cahaya matahari dari permukaan sampai kedalaman tertentu dimana intensitas matahari tinggal sekitar 5%. Penentuan kedalaman pengukuran kecerahan yaitu dimana piring Secchi masih terlihat dan apabila diturunkan sedikit menjadi tidak terlihat. Pengukuran sebaiknya dilakukan pada siang hari dan tidak langsung terkena sinar matahari atau terlindung. Hasil pengukuran dapat memberikan gambaran kasar kepadatan phytoplankton dalam perairan dengan kandungan partikel-partikel tersuspensi dan terlarut tidak terlalu tinggi dan konstan. Dalam kegiatan budidaya ikan di kolam, sebaiknya tingkat kecerahan berkisar antara 25 – 40 cm. Tingkat kecerahan tersebut diharapkan menggambarkan kepadatan plankton yang sesuai. Nilai kecerahan yang kurang dari 25 cm berarti perairan kolam tersebut kepadatan planktonnya terlalu tinggi sehingga dapat menimbulkan terjadinya penurunan kandungan oksigen terlarut

hingga mencapai titik kritis pada malam atau dini hari. Sementara itu, apabila kecerahan perairannya > 40 cm berarti kolam tersebut mempunyai tingkat kesuburan yang rendah. Pengukuran kecerahan ini akan lebih bermanfaat apabila disertai pula pengamatan terhadap parameter kualitas air lainnya yang terkait, seperti kepadatan plankton, kandungan oksigen terlarut, dan beberapa unsure kimia lain.

#### **4.1.3. Arus**

Arus merupakan faktor pembatas utama, terutama pada perairan yang arusnya deras. Arus juga berperan dalam penyebaran gas-gas vital, garam-garam dan jasad-jasad kecil. Pada kecepatan arus tertentu, tidak semua organisme dapat mengadaptasinya. Adaptasi organisme dalam menghadapi kondisi arus diuraikan di bagian akhir dari **Bab** ini.

#### **4.1.4. Kadar gas-gas respirasi**

Pada ekosistem perairan air tawar kadar oksigen dan karbon dioksida adalah faktor pembatas bagi kehidupan. Oleh karena itu, kadar oksigen terlarut (DO = dissolved oxygen) dan permintaan oksigen hayati (BOD = Biological Oxygen Demand) merupakan faktor yang selalu diukur pada setiap penelitian perikanan air tawar.

#### **4.1.5. Kadar garam biogenik**

Nitrat dan fosfat terdapat dalam jumlah yang terbatas pada ekosistem air tawar, keterbatasan ini juga terjadi atau berlaku pada beberapa jenis garam-garaman seperti Ca. Oleh karena itu, kadar garam pada air tawar tidak lebih dari 0,5 promil.

### **4.2. Klasifikasi Ekologis Organisme Air Tawar**

Organisme perairan tawar dapat diklasifikasikan berdasarkan kedudukannya pada rantai makanan, yaitu :

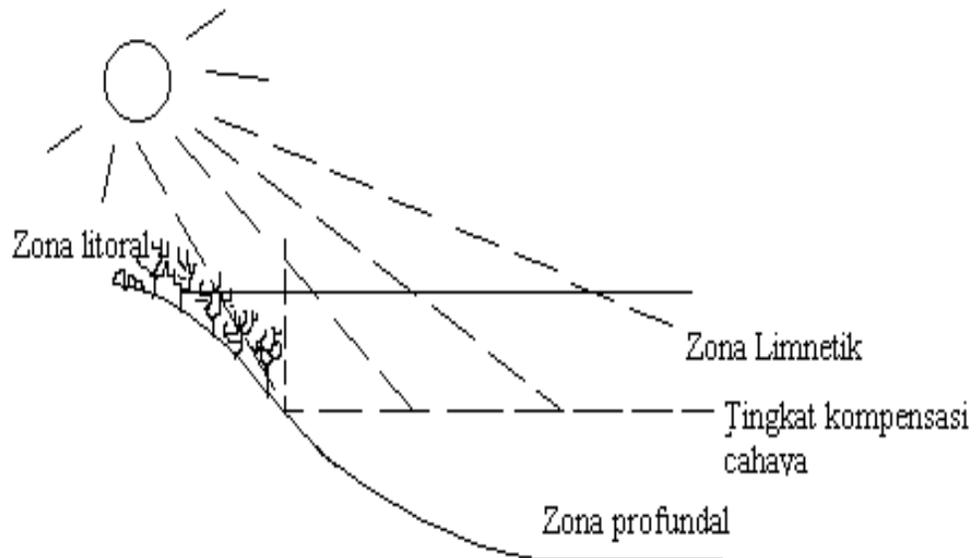
- a) Autotrof (produsen) adalah tanaman hijau dan mikroorganisme kemosintetik
- b) Pagotrof (konsumen makro) adalah herbivora, predator, parasit dan sebagainya.
- c) Saprotrof (konsumen mikro atau pengurai) adalah diklasifikasikan kembali berdasarkan asal bahan organik yang diuraikan.

Klasifikasi lain dari organisme perairan air tawar ini adalah berdasarkan pada bentuk kehidupannya atau kebiasaan hidupnya, sebagai berikut:

- a) Benthos yaitu organisme yang melekat atau beristirahat pada dasar atau hidup di dasar endapan. Binatang benthos dapat dibagi berdasarkan cara makannya, yaitu :
  - Pemakan penyaring (kerang)
  - Pemakan deposit (siput)
- b) Periphyton yaitu organisme baik tanaman maupun binatang yang menempel pada substrat, seperti daun dari tanaman yang berakar atau permukaan lain yang menonjol dari dasar.
- c) Plankton yaitu organisme yang mengapung yang pergerakannya tergantung pada arus. Walaupun beberapa zooplankton menunjukkan gerakan berenang yang aktif secara vertikal, tetapi tidak mampu bergerak melawan arus.
- d) Nekton yaitu organisme yang dapat berenang dan bergerak dengan kemauan sendiri. Ikan, amfibi, dan serangga air adalah termasuk kelompok ini.
- e) Neuston yaitu organisme yang beristirahat atau berenang pada permukaan.

Klasifikasi organisme perairan tawar juga dapat dilakukan berdasarkan daerah atau sub habitat. Dalam hal ini, apabila kita perhatikan pola kolam yang dalam atau danau umumnya dibagi menjadi 3 (tiga) zone yaitu :

- a) Zone littoral yaitu daerah perairan yang dangkal dengan penetrasi cahaya sampai ke dasar, dan biasanya pada kolam atau danau alam ditumbuhi oleh tanaman. Hal ini tidak selalu demikian apabila kita perhatikan kolam buatan.
- b) Zona limnetik yaitu adalah daerah air terbatas sampai kedalaman penetrasi cahaya yang efektif. Daerah ini juga dikenal dengan tingkat kompensasi yaitu daerah dimana besarnya kegiatan fotosintesa berada pada kondisi yang seimbang dengan respirasi. Pada umumnya daerah ini berada pada kedalaman dimana intensitas cahaya kira-kira 1% dari intensitas cahaya penuh. Komunitas disini hanya terdiri dari plankton, nekton, dan kadang-kadang neuston. Zone ini tidak dijumpai pada kolam yang dangkal.
- c) Zone profundal yaitu bagian dasar daerah air yang dalam dan tidak tercapai oleh penetrasi cahaya efektif. Zone ini biasanya tidak ada pada kolam.



**Gambar 4.2.** Zonasi habitat perairan tawar

Berdasarkan aliran air, dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) macam, zona yaitu :

a) Zone air deras

Merupakan daerah yang dangkal, dimana kecepatan arus cukup tinggi dan dapat menyebabkan dasar sungai bersih dari endapan dan materi lain yang lepas, sehingga dasarnya padat. Zone ini dihuni oleh benthos yang beradaptasi khusus atau organisme perfisik yang melekat atau berpegang dengan kuat pada dasar yang padat.

b) Zone air tenang

Bagian air yang dalam dimana kecepatan arus sudah berkurang. Disini lumpur dan materi lepas cenderung mengendap di dasar. Sehingga dasar perairan menjadi lunak dan tidak sesuai untuk benthos permukaan tetapi cocok untuk nekton atau beberapa jenis plankton.

### 4.3. Zone Littoral

Kondisi habitat ini di dalam pembahasan-pembahasan sering sekali diwakili oleh danau dan kolam. Dan apabila kita kembali pada sistem zonasi dari habitat benthik ini yang

terdiri dari zona litoral, zona limnetik dan zona profundal, maka seyogyanya karakteristik dari komunitasnya pun kita perlu bedakan berdasarkan zonasi ini.

a) Zona litoral

Produsen pada zona ini terdiri dari 2 (dua) tipe yaitu yang berakar atau tanaman dan fitoplankton atau tanaman hijau yang mengapung. Biasanya tanaman berakar akan membentuk zona melingkar pada bagian litoral dan dapat membentuk tiga kelompok yaitu :

- Kelompok vegetasi tersembul, merupakan tanaman berakar dimana alat fotosintesisnya muncul di atas permukaan air, sehingga karbon dioksida untuk menghasilkan bahan makanan oleh kelompok ini diambil dari udara, sementara bahan mentah yang lain diambil dari bawah air.
- Kelompok tanaman berakar dengan daun yang mengapung, kelompok ini secara ekologis dapat dikatakan serupa dengan kelompok sebelumnya, akan tetapi kelompok ini lebih efektif di dalam mengurangi penetrasi cahaya matahari kedalam air. Contoh penting dari kelompok ini adalah tanaman teratai, dimana bagian bawah daunnya adalah merupakan tempat istirahat yang sesuai sekaligus tempat untuk meletakkan telur bagi beberapa binatang.
- Kelompok vegetasi terendam, adalah merupakan tanaman yang seluruhnya atau sebagian besar terendam air. Kelompok ini mempunyai ciri daun cenderung tipis dan terbelah-belah halus, sehingga dapat beradaptasi untuk pertukaran nutrisi dengan air.

Moss (1996) mengemukakan bahwa produsen yang tidak berakar pada zona litoral terdiri dari berbagai jenis ganggang, dan umumnya dijumpai terapung pada zona litoral dan limnetik seperti misalnya plankton. Akan tetapi dijumpai pada beberapa jenis yang berasosiasi dengan tanaman yang berakar, dan sekaligus merupakan ciri dari zona litoral.

Sementara konsumen pada zona litoral merupakan daerah yang banyak dihuni berbagai jenis binatang, terutama perifiton yang menunjukkan zonasi sejajar dengan tanaman berakar. Beberapa contoh dari perifiton yang dijumpai di zona litoral adalah rotifera, cacing pipih, hydra, larva kutu dan lain sebagainya. Disamping itu, pada zona ini dijumpai pula kelompok nekton dan ampibi bertulang belakang seperti katak, kura-kura, ular dan lain sebagainya yang secara bersama-sama adalah merupakan anggota komunitas di zona litoral.

b) Zona limnetik

Kebanyakan kehidupan limnetik berukuran mikroskopik, sehingga kurang mendapat perhatian. Fitoplankton di zona ini sering kali mempunyai serangkaian proses dan beradaptasi dengan turbulensi atau gerakan arus air ke atas yang disebabkan oleh adanya perbedaan suhu. Proses ini mengakibatkan fitoplankton dapat dekat dengan permukaan, yang merupakan daerah berlangsungnya fotosintesa paling efektif. Akibatnya, kelompok phytoplankton ini sering kali dapat mengakibatkan perairan berwarna hijau, karena kerapatannya yang amat tinggi.

Sementara zooplankton pada zona limnetik hanya terdiri dari beberapa jenis, akan tetapi jumlah individunya dapat cukup besar. Diantara zooplankton tersebut yang merupakan jenis penting adalah copepoda, cladocera dan rotifera yang karakteristiknya amat berbeda jika dibandingkan dengan yang dijumpai di zona litoral.

Zooplankton di dalam hidupnya akan memperlihatkan fluktuasi populasi yang seirama dengan kondisi fitoplankton, karena dalam kenyataannya zooplankton adalah sangat tergantung pada fitoplankton. Beberapa jenis plankton diketahui dapat menggunakan bahan organik yang terlarut, akan tetapi makanan berupa partikel adalah merupakan sumber energi utama.

Nekton limnetik pada habitat air tawar hampir seluruhnya berupa ikan, dimana kebanyakan ikan air tawar dewasa makan binatang lain yang ukurannya sedang dan bukan memakan phytoplankton atau zooplankton yang mempunyai ukuran mikroskopis.

c) Zona profundal

Karena salah satu ciri zona ini adalah tidak adanya penetrasi cahaya matahari, maka penghuni daerah ini sangat tergantung pada penghuni yang ada di zona litoral dan zona limnetik. Sebaliknya zona profundal ini merupakan pensuplai nutrisi yang telah di daur ulang, melalui gerakan arus dan binatang yang berenang ke zona lain. Pada dasarnya keanekaragaman kehidupan pada zona ini adalah tidak besar, akan tetapi apa yang ada pada zona ini adalah sangat penting bagi komunitas yang ada di zona lainnya.

Komunitas utama pada zona profundal terdiri dari bakteri dan jamur yang banyak dijumpai terutama pada pertemuan antara air dan hampan yang merupakan

tempat ditimbunnya bahan organik. Pada zona ini dijumpai adanya 3 (tiga) kelompok konsumen, yaitu :

- cacing darah atau larva chironomid
- kerang kecil yang berasal dari beberapa keluarga sphaeridae
- larva phantom atau chaoborus

Dua kelompok yang pertama adalah merupakan benthos, sedangkan yang terakhir adalah plankton yang secara teratur naik ke zona limnetik pada waktu malam hari dan turun kembali ke dasar di siang hari.

Danau adalah bentuk geologi sementara dan biasanya terbentuk karena bencana alam, dan mencerminkan distribusi yang terlokasi pada lembah di atas masa tanah di daratan dan tidak pernah terjadi secara simultan di tempat yang sama (Rososoedarmo dkk 1993 dan Moss, 1996). Disini tidak ada batasan yang tegas antara danau dan kolam, kecuali kepentingan secara ekologis selain ukuran secara keseluruhan. Dalam danau, zona limnetik dan profundal relatif besar ukurannya dibandingkan zona litoral dan apabila sifat-sifatnya merupakan kebalikan, maka dikenal dengan kolam. Jadi zona limnetik adalah daerah produsen utama untuk danau secara keseluruhan. Sebaliknya, untuk kolam zona litoral adalah daerah produsen utama dan komunitas di daerah ini merupakan bahan yang paling menarik untuk diteliti.

Selama musim panas, air dibagian atas menjadi lebih panas jika dibandingkan dengan air yang ada pada lapisan di bawahnya. Akibatnya hanya pada lapisan atas yang hangat terjadi sirkulasi dan ini tidak bercampur dengan air yang lebih dingin dan lebih padat, sehingga terjadi zona yang merupakan antara suhu yang cepat menurun dengan bertambahnya kedalaman yang disebut dengan "thermoklin". Bagian atas yang merupakan lapisan air yang hangat dan terjadi sirkulasi dikenal dengan "epilimnion". Sedangkan air yang lebih dingin sekalipun terjadi sirkulasi disebut dengan "hipolimnion".

Dari pengamatan yang telah dilakukan para ahli ekologi menunjukkan bahwa danau mempunyai banyak variasi atau kombinasi sifat-sifat. Namun demikian menurut Odum (1971), pada dasarnya terdapat 3 (tiga) kategori yang perlu diperhatikan yaitu:

- a) Danau oligotrofik – eutrofik

Danau di semua daerah dapat dikategorikan berdasarkan produktivitas primernya seperti telah dilakukan oleh seorang ahli limnologi berkebangsaan

Jerman, yaitu Thienemann. Produktivitas atau kesuburan danau tergantung pada nutrisi yang diterimanya dari perairan di sekitarnya.

Danau oligotrofik yang biasanya dalam dengan hipolimnion yang lebih besar dari epilimnion dan mempunyai produktivitas primer yang rendah. Disamping itu, pada danau ini kerapatan plankton adalah rendah, walaupun jumlah jenis yang ada mungkin tinggi. Blooming plankton juga tidak terjadi karena makanan jarang tertimbun secara cukup untuk mendukung pertumbuhan yang besar bagi plankton. Karena produktivitasnya dari perairan di permukaan rendah mengakibatkan hipolimnion tidak dihadapkan pada kekurangan oksigen yang berat, sehingga ikan stenotermal yang gemar akan air dingin merupakan ciri dari oligotrofik.

Kebalikan dari oligotrofik adalah eutrofik yang dicirikan dengan kedalaman lebih dangkal dan produktivitas primernya lebih tinggi. Populasi plankton yang ada disini adalah lebih rapat dan blooming plankton adalah merupakan cirinya. Karena mengandung bahan organik yang tinggi, mengakibatkan stagnasi musim panas yang hebat mampu menghilangkan jenis-jenis ikan yang menyukai perairan dingin.

b) Tipe danau khusus

Tipe danau dengan sifat khusus ini dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- Danau Dystrophic, dikenal juga sebagai danau humus atau danau coklat, yang biasanya mengandung "humic acid" tinggi dalam airnya. Danau ini umumnya mempunyai tepi yang terdiri dari gambut dengan pH yang rendah dan dapat berkembang menjadi pasir terapung.
- Danau tua yang dalam, danau Baikal di Rusia adalah danau tua yang paling terkenal dan merupakan danau terdalam di dunia, yang terbentuk karena pergerakan bumi sewaktu jaman mesozoik.
- Danau asin digurun pasir, terjadi pada perairan sedimenter di daerah dengan iklim kering, dimana evaporasi lebih besar dari pada presipitasi dan menghasilkan konsentrasi garam yang tinggi. Pada danau ini terdapat komunitas dari beberapa jenis organisme yang tahan terhadap salinitas tinggi, seperti halnya *Artemia*.
- Danau alkali di gurun pasir, danau ini terjadi pada perairan "igneous" di daerah dengan iklim kering, pH dan konsentrasi karbonat tinggi.

- Danau vulkanik, danau yang asam atau basa berhubungan dengan daerah vulkanik yang masih aktif dan mendapat aliran air dari magma. Danau ini mempunyai kondisi kimiawi yang ekstrim dan biota amat terbatas.
- Danau dengan stratifikasi kimia, danau tipe ini berbeda dengan kebanyakan danau lainnya, dimana permukaan air dan dasar bercampur secara berkala. Hal ini mengakibatkan beberapa danau menjadi terstratifikasi secara permanen, karena adanya rembesan air asin atau pelepasan garam dari endapan yang dapat menghasilkan perbedaan kerapatan yang tetap antara air permukaan dan air dasar danau. Dalam hal ini batas antara lapisan yang tersirkulasi dan tidak tersirkulasi disebut "kemoklin".
- Danau kutub, suhu permukaan danau tetap di bawah 4o C atau naik di atas angka tersebut hanya untuk periode yang amat pendek selama musim panas yang melelehkan es. Sehingga dengan demikian, sirkulasi dapat terjadi dan populasi plankton tumbuh dengan cepat selama periode ini, disamping sering menyimpan lemak yang dapat dipergunakan pada musim dingin yang panjang.

c) Penggenangan

Danau buatan adalah sangat bervariasi dan tergantung pada daerah serta sumber air alaminya. Pada umumnya danau buatan ditandai oleh fluktuasi permukaan air dan turbiditas yang tinggi, serta produksi benthos sering lebih kecil jika dibandingkan dengan danau alam.

Sementara danau buatan lain yang merupakan bentuk danau karena proses penggenangan adalah kolam. Kolam adalah perairan yang kecil, dimana zona litoralnya relatif besar dan daerah limnetik maupun profundalnya adalah relatif kecil dan bahkan tidak ada. Sehingga dengan demikian, stratifikasi pada kolam menjadi tidak penting.

#### **4.4. Habitat Air Mengalir**

Dasar perairan adalah hal yang penting sekaligus menentukan sifat komunitas serta kerapatan populasi dari komunitas. Disini arus menjadi faktor pembatas utama pada habitat air mengalir, sehingga dasar perairan yang keras terutama yang terdiri dari batu dapat merupakan habitat yang baik bagi organisme untuk menempel atau melekat.

Dengan demikian, komposisi jenis dari komunitas habitat air mengalir akan berbeda sekali jika dibandingkan dengan komunitas habitat air tergenang seperti danau maupun kolam.

Pada umumnya invertebrata bentik mempunyai kerapatan yang paling tinggi pada komunitas air mengalir, sedangkan nekton dan bentuk-bentuk penggali dalam air lebih banyak dijumpai pada habitat air tergenang. Plankton juga dijumpai dalam jumlah yang relatif sedikit pada habitat ini, karena plankton pada dasarnya tidak tahan pada arus. Hal ini mengakibatkan ikan-ikan pada habitat ini beristirahat dan makan pada bagian air yang tenang dari habitat ini. Keberadaan plankton masih dimungkinkan pada aliran air yang kecil atau pada bagian air yang bergerak perlahan dan sungai besar, plankton dapat berkembang biak dan menyatu sebagai bagian dari komunitas.

Organisme dari komunitas habitat air mengalir dapat dikelompokkan menjadi 7 (tujuh), yaitu :

a) Melekat permanen pada substrat yang kokoh, seperti batu, batang kayu, dan lain sebagainya. Pada kelompok ini yang menjadi produsen utama adalah :

- Ganggang hijau yang melekat dan mempunyai serabut yang panjang, seperti misalnya *Cladophora*.
- Diatomae yang tertutup keras dan menutupi berbagai permukaan.
- Lumut air dari marga *Fontinalis* dan beberapa marga lain yang menutupi batu.

b) Kaitan dan penghisap

Sebagian besar binatang yang hidup pada habitat air mengalir mempunyai kaitan atau penghisap yang memungkinkan mereka berpegangan pada permukaan yang halus.

c) Permukaan bawah yang lengket

Binatang ini dapat menempelkan tubuhnya pada suatu substrat karena permukaan bagian bawah kelompok binatang ini yang lengket. Contoh dari kelompok binatang ini adalah siput, cacing pipis dan lain sebagainya.

d) Badan yang "(Stream Line)"

Hampir seluruh binatang yang hidup pada habitat air mengalir dari larva serangga sampai dengan ikan mempunyai bentuk yang stream Line. Bentuk badan seperti ini akan mengakibatkan tekanan minimum dari air yang melewatinya.

e) Badan yang pipih

Pada habitat air mengalir ini dijumpai pula binatang-binatang yang bentuk badan pipih, sehingga memungkinkan binatang-binatang ini berlindung di bawah atau di celah-celah batu.

f) Rheotaxis positif (mampu melakukan pengaturan terhadap arus). Kelompok binatang ini pada dasarnya adalah mampu berenang melawan arus, dan pada dasarnya ini adalah pola tingkah laku yang diturunkan. Dengan kata lain Rheotaxis positif dapat juga dikatakan sebagai kemampuan adaptasi morfologi.

g) Thigmotaxis positif.

Merupakan kelompok binatang pada habitat air mengalir yang mempunyai pola tingkah laku yang diturunkan untuk melekat didekat permukaan atau menjaga agar tetap dengan permukaan.

Zonasi pada habitat air mengalir adalah mengarah ke longitudinal, yang menunjukkan bahwa tingkat yang lebih tua berada di bagian hulu dan kemudian mengarah hilir. Pada habitat air mengalir ini, perubahan-perubahan yang terjadi akan lebih nampak pada bagian atas dari aliran air karena adanya kemiringan, volume aliran dan komposisi kimia yang berubah. Disini perubahan komunitas akan lebih nampak pada perak yang relatif lebih dekat jika dibandingkan dengan jarak yang relatif jauh.

## BAB V

## EKOLOGI LAUT

Sebagai manusia yang hidup di darat, sering kali kita lebih tertarik pada keadaan di darat dibandingkan dengan keadaan yang ada di perairan. Padahal planet bumi tidak ubahnya sebagai planet air, dan sekitar 70,8 % luas permukaan bumi yang luasnya 510 juta km<sup>2</sup> adalah merupakan lautan. Disamping itu, cuaca dan iklim yang memungkinkan kehidupan di planet ini dalam banyak hal sangat ditentukan oleh perkembangan/ perubahan kondisi di laut dan udara yang ada di atasnya. Hal ini disebabkan oleh karena lautan merupakan medium yang bergerak dinamis dan saling berkaitan atau berhubungan satu dan yang lainnya, hingga merupakan satu kesatuan yang berkesinambungan.

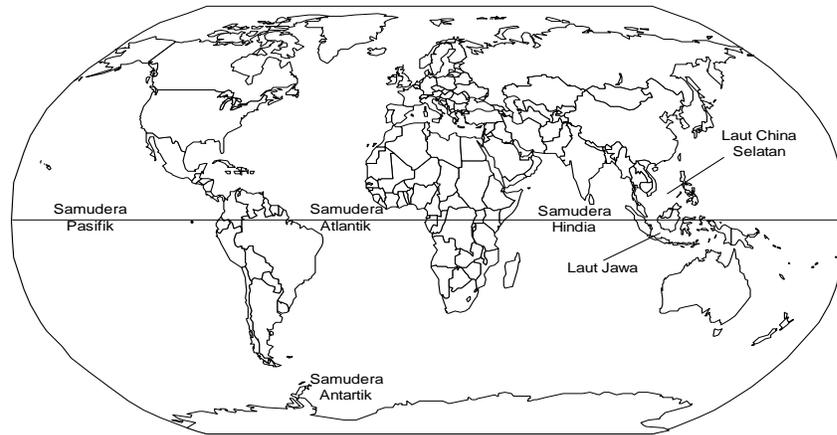
Di dunia, lautan/samudera yang mempunyai luas cukup besar yaitu Samudera Pasifik, Atlantik, Hindia (*Indian Ocean*), Artik (*Arctic Ocean*) dan Antartik (*Antarctic Ocean*) serta beberapa perairan laut yang lebih kecil seperti Laut Jawa, Laut Banda, Laut China Selatan, dan lain-lain. Samudera tersebut berhubungan satu dengan yang lainnya dan menjadi suatu kesatuan dan membentuk satu perairan samudera yang sangat luas dengan banyak cabang-cabangnya (**Gambar 5.1**)

Secara keseluruhan, permukaan bumi bagian selatan (*northern hemisphere*) sebagian besar wilayahnya, sekitar 80%, adalah lautan dan bahkan pada 55° – 65° LS seluruh wilayahnya dilingkari lautan tanpa terputus oleh adanya daratan. Sementara itu, belahan utara (*northern hemisphere*) wilayahnya tertutup lautan sekitar 60%. Samudera Pasifik adalah samudera yang paling luas, mencapai sekitar sepertiga dari permukaan bumi.

Menurut Mintji (1993) laut pada dasarnya dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, diantaranya adalah untuk sarana transportasi, pertambangan, sumber bahan baku obat-obatan, sumber energi, rekreasi dan pariwisata, penelitian dan pendidikan, konservasi, dan pertahanan dan keamanan.

Laut sebagai medium transportasi telah dikenal sejak jaman dahulu, seperti misalnya perhubungan laut antara pulau yang dilaksanakan dengan perahu sederhana sampai kapal-kapal modern. Sistem transportasi laut ini sampai sekarang mempunyai peranan ekonomi yang sangat penting bagi beberapa negara seperti halnya Indonesia. Di laut juga dimungkinkan untuk dilakukan kegiatan penambangan seperti halnya penambangan minyak dan gas bumi. Indonesia memiliki sekitar 50 cekungan yang potensial

menghasilkan minyak dan, saat ini, produksi minyak sekitar 35% produksi minyak berasal dari sumur-sumur minyak di lepas pantai.



**Gambar 5.1.** Penyebaran Samudera Di Planet Bumi

Disamping itu, dari laut terdapat kemungkinan untuk menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan perbedaan suhu air laut di lapisan permukaan dan di lapisan dalam yang dikenal dengan OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) dan telah dikaji oleh BPPT. Adapun dari aspek pariwisata, Indonesia terkenal dengan keindahan ekosistem lautnya yang sekaligus dapat digabungkan dengan tujuan untuk pendidikan dan penelitian bahkan konservasi, seperti adanya taman laut nasional. Dan yang tidak kalah pentingnya, laut merupakan media untuk mempersatukan antar pulau dan untuk pertahanan keamanan negara.

Indonesia yang merupakan negara kepulauan dengan sebagian besar wilayahnya adalah lautan mempunyai potensi yang sangat besar untuk pemanfaatan di bidang perikanan. Kegiatan perikanan mencakup kegiatan penangkapan dan pembudidayaan dengan komoditas ikan, kerang, udang dan lain sebagainya. Potensi sumberdaya perikanan di perairan laut Indonesia diperkirakan sebesar 4,5 juta ton/tahun dan ZEE Indonesia sebesar 2,1 juta ton/tahun atau secara keseluruhan sebesar 6,6 juta ton/tahun. Potensi perikanan tersebut diperkirakan meliputi sumberdaya perikanan pelagis sebesar 3,5 juta ton/tahun, demersal 2,5 juta ton/tahun, tuna 166 ribu ton/tahun, cakalang 265 ribu ton/tahun, udang 69 ribu ton/tahun, dan ikan karang sekitar 48 ribu ton/tahun. Sampai saat ini, sumberdaya perikanan tersebut belum dimanfaatkan secara optimal. Namun demikian, juga perlu disadari bahwa di beberapa daerah telah terjadi pemanfaatan yang berlebih dan dapat membahayakan kelestarian sumberdayanya.

Dari uraian di atas menunjukkan bahwa pemanfaatan lautan adalah sangat beragam dan setiap upaya pemanfaatan lautan akan memberikan pengaruh yang berbeda-beda. Keadaan ini mengakibatkan ekosistem lautan menjadi sangat kompleks, karena disamping dipengaruhi oleh faktor yang bersifat alami juga dipengaruhi oleh faktor buatan yang ditunjukkan oleh berbagai aktivitas manusia.

### **5.1. Zonasi lautan**

Ekosistem laut dapat dipandang dari dimensi horisontal dan vertikal seperti dapat dilihat melalui **Gambar 5.2**. Secara horisontal laut dapat dibagi menjadi dua yaitu :

- a) Laut pesisir (Zona Neritik)
- b) Laut lepas (Zona Oseanik)

Zonasi perairan laut dapat pula dibedakan berdasarkan faktor-faktor fisik dan penyebaran komunitas biotanya (Rokhmin dkk, 1996). Seluruh perairan laut terbuka disebut sebagai daerah pelagis dan organisme pelagis adalah organisme yang hidup di laut terbuka dan lepas dasar laut. Oleh karena itu, zona dasar laut beserta organismenya disebut daerah dan organisme bentik.

Pembagian wilayah laut secara vertikal dilakukan berdasarkan intensitas cahaya matahari yang memasuki kolom perairan, yaitu :

#### **a) Zona fotik**

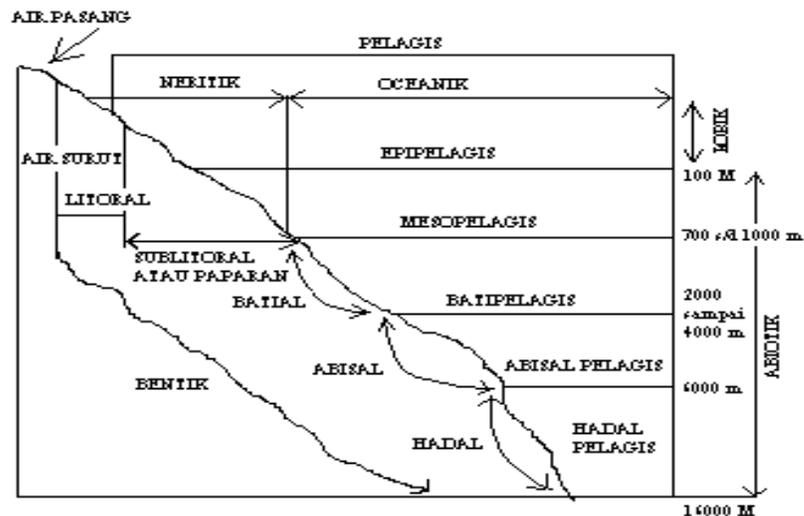
Zone ini merupakan bagian kolom perairan laut yang masih mendapatkan cahaya matahari. Pada zona inilah proses fotosintesa serta berbagai macam proses fisik, kimia dan biologi berlangsung dan sekaligus dapat mempengaruhi distribusi unsur hara dalam perairan laut. Disamping itu pada zona ini juga terjadi penyerapan gas-gas dari atmosfer dan pertukaran gas yang dapat menyediakan oksigen bagi organisme laut. Zona fotik ini disebut pula sebagai zona epipelagis, yang kedalamannya berkisar antara 50 - 150 meter.

#### **b) Zona afotik**

Zona afotik adalah daerah yang secara terus menerus berada dalam keadaan gelap, karena tidak mendapatkan cahaya matahari. Zona ini secara vertikal pada kawasan pelagis dapat juga dibagi kedalam beberapa zona, yaitu :

- Zona mesopelagis  
Zona ini merupakan bagian teratas dari zona afotik sampai pada kedalaman 700 - 1.000 meter atau hingga isotherm 10°C.
- Zona batipelagis  
Zona ini terletak pada daerah yang memiliki temperatur berkisar antara 4°C s/d 10°C dengan kedalaman antara 700 - 1.000 meter dan 2.000 - 4.000 meter.
- Zona abisal pelagis  
Zona abisal pelagis terletak di atas dataran benua dasar laut, sampai pada kedalaman sekitar 6.000 meter.
- Zona hadal pelagis  
Zona ini merupakan perairan terbuka dari palung laut dalam dengan kedalaman 6.000 - 10.000 meter.

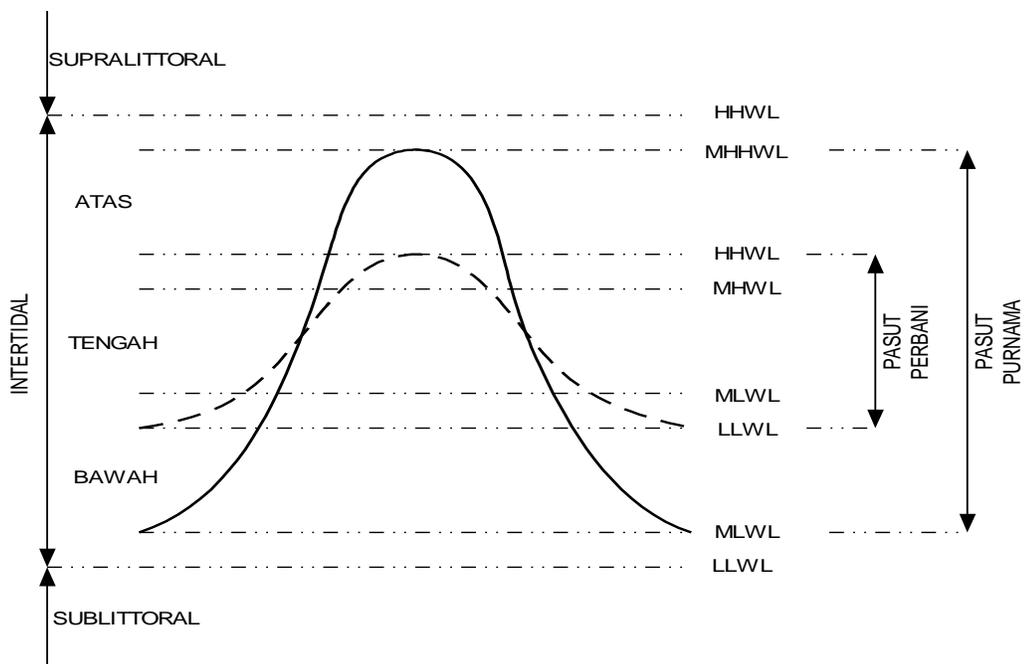
Pembagian zona dasar laut atau bentik adalah berkaitan erat dengan zona pelagis pada daerah dasar yang mencakup lereng benua sampai pada kedalaman 4.000 meter, dan zona abisal termasuk dataran abisal yang luas dari palung laut dengan kedalaman antara 4.000 - 6.000 meter. Sedangkan zona hadal adalah zona pada palung laut dengan kedalaman antara 6.000 - 10.000 meter.



**Gambar 5.2.** Zonasi Wilayah pesisir dan lautan secara horisontal dan vertikal (Nybakken, 1992)

Zona bentik di bawah zona meritik pelagis pada paparan benua disebut sublitoral atau zona paparan. Zona ini dihuni oleh berbagai organisme dan terdiri dari berbagai komunitas seperti padang lamun, rumput laut, dan terumbu karang. Daerah pantai yang terletak diantara pasang tertinggi dan surut terendah disebut zona intertidal atau litoral. Zona ini merupakan daerah peralihan antara kondisi lautan ke kondisi daratan, sehingga berbagai macam organisme terdapat dalam zona ini.

Dikaitkan dengan peristiwa terjadinya pasang surut, zonasi pesisir dapat dibedakan menjadi zona *supra littoral*, *intertidal*, dan *sub-littoral* atau *infralittoral* (**Gambar 5.3**). Zona intertidal, terletak antara zona supralittoral dan sublittoral, membentang antara batas yang tidak terendam air saat surut terendah (*Lowest Low Water Level – LLWL*) pada pasang surut purnama (*Spring Tides*) sampai batas dimana masih terendam air saat pasang tertinggi (*Highest High Water Level – HHWL*) pada pasang purnama. Zona Supralittoral membentang mulai dari batas teratas zona intertidal hingga areal dimana masih terdapat percikan air pasang, dan zona sublittoral mulai dari batas terbawah zona intertidal hingga bagian terdalam perairan laut. Batas antar zona dalam gambar adalah garis imajiner karena di alam batas tersebut selalu berubah-ubah dan sulit untuk ditentukan secara tepat dan permanen.



**Gambar 5.3.** Kisaran Pasang Surut (Pasang Purnama – *Spring Tides* dan Pasang Perbani - *Neap Tides*) dan Zonasi Perairannya

## 5.2. Kondisi oseanografi perairan laut

Kondisi oseanografi perairan laut dapat digambarkan oleh terjadinya berbagai fenomena alam seperti terjadinya pasang surut, arus, kondisi suhu dan salinitas serta angin. Fenomena-fenomena alam tersebut memberikan ciri dan karakteristik khusus pada kawasan perairan laut, sehingga menyebabkan terjadinya kondisi fisik perairan yang berbeda-beda.

### 5.2.1. Pergerakan air laut

Air laut pada dasarnya beredar sesuai dengan arah jarum jam di belahan utara bumi, dan berlawanan dengan arah jarum jam di belahan selatan bumi. Mekanisme dan peredaran air laut tersebut adalah sebagai berikut :

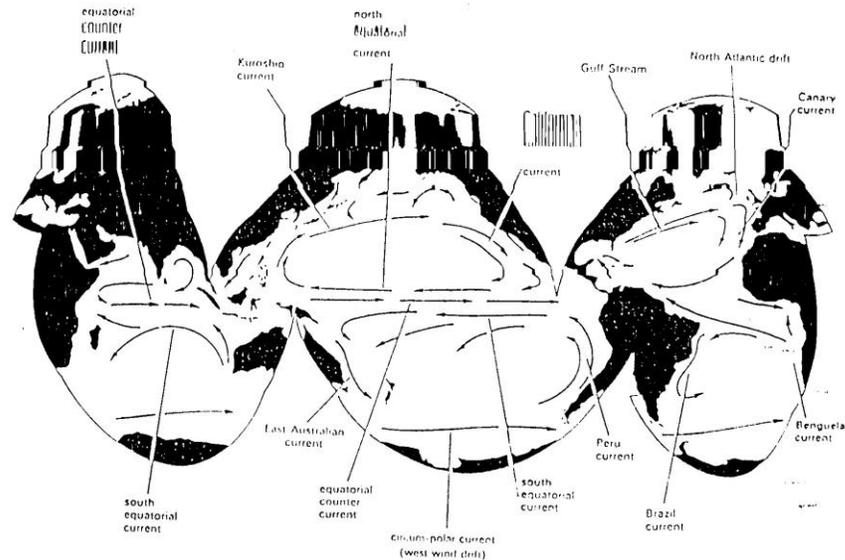
Pertama : Angin di lautan menggerakkan air permukaan, dan pengarah angin tersebut akan semakin berkurang apabila semakin dalam dari permukaan

Kedua : Bentuk cekung-cekung lautan dan batas-batas benua tersebut akan mengarahkan peredaran air laut sebagai gerakan sirkulasi (bersirkulasi).

Ketiga : Perairan tropis cenderung lebih hangat dan kurang padat dibandingkan dengan perairan kutub, dan akibatnya adalah air daerah tropis akan mengalir ke kutub.

Kekuatan (gaya) *coriolis* berpengaruh pada gerakan angin dan peredaran air laut yang diakibatkan oleh mekanisme tersebut, sehingga peredaran air laut tersebut menyimpang ke kanan dari arah angin di belahan utara bumi dan menyimpang ke kiri dalam belahan selatan bumi. Disini peredaran air laut diberi nama sesuai arah alirannya, dan sebaliknya angin diberi nama sesuai dengan arah mana angin tersebut berasal. Untuk lebih jelasnya perhatikan **Gambar 5.4**.

Angin terpenting yang menghasilkan pergerakan permukaan laut adalah Pasat Timur Laut (*The North-East Trades*) dan geseran angin barat (*Westerlies*) di belahan utara bumi, serta Pasat Tenggara (*The South-East Trades*) dan geseran angin barat di belahan selatan bumi. Disamping itu peredaran keliling kutub selatan di belahan selatan bumi diarahkan oleh geseran angin barat (*West-Wind Drift*) yang terjadi di 45° - 60°LS, tetapi tidak terjadi peredaran keliling di belahan utara utara karena terdapat banyak daratan.



**Gambar 5.4.** Arus-arus Permukaan Di Laut

Pergerakan air laut di belahan utara terjadi cepat dan sempit dibatas benua Asia dan Amerika Utara yang disebut dengan "*Arus Kuroshid*" di Samudra Pasifik dan "*Arus Florida*" serta "*Arus Teluk Mexico*" di Samudra Atlantik. Posisi putaran-putaran tersebut adalah tidak terduga dan dapat berpindah. Sedangkan putaran yang terjadi di Pasifik Utara dan arus Kalifornia di Samudra Pasifik bagian utara serta arus vertikal Atlantik utara dan arus Canary semuanya terjadi sangat lambat, tetapi mencakup wilayah yang luas.

Tempat-tempat putaran dan arus dibelahan utara bumi itu mendekati pada equator di semua samudra (Hindia, Pasifik, dan Atlantik) sehingga terbentuklah "*arus equatorial Utara*" yang arahnya ke Barat. Di belahan Selatan bumi juga terbentuk "*arus equator Selatan*" dengan cara yang sama. Kedua arus equatorial tersebut dipisahkan oleh arus yang arahnya berlawanan yaitu "*arus equator penghalang*" (Equatorial Counter - Current). Dan belakangan telah ditemukan "arus bawah equatorial" yang diberi nama "*Cromwell Current*" dan mengalir ke Timur. Cromwell Current tersebut terdapat pada kedalaman 40 - 100 meter, yang lebarnya mencapai 300 km dan dalam/ketebalan 200 meter dengan kecepatan sampai mencapai 5 km/jam. Arus Cromwell ini mungkin dapat menjelaskan keberadaan ikan tuna dari jenis "Yellow Fin Tuna" di laut Banda pada bulan-bulan tertentu.

Disamping pergerakan air laut secara horisontal seperti diuraikan di atas, air laut juga dapat bergerak/bersirkulasi secara vertikal. Secara vertikal, pergerakan air dapat terjadi di lapisan atas perairan atau arus permukaan (*Surface Current*), di bagian tengah atau arus tengah (*Intermediate Current*), dan terjadi di bagian dasar perairan atau arus dasar (*Bottom Current – Deep Current*).

Mencairnya es dekat pinggiran Benua Antartika mengakibatkan rendahnya salinitas air laut, kemudian bercampur dengan arus dalam antartiks (*Antarctic Deep Current*). Campuran ini mengakibatkan terjadinya arus permukaan antartiks yang mengalir ke Utara dan kemudian turun menjadi arus pertengahan antartiks (*Antarctic Intermediate Current*) dan terbentuklah apa yang disebut dengan arus dasar antartiks (*Antarctic Bottom Current*). Arus ini membawa air yang salinitasnya relatif tinggi, sangat dingin dan mengalir ke arah Utara sepanjang dasar lautan.

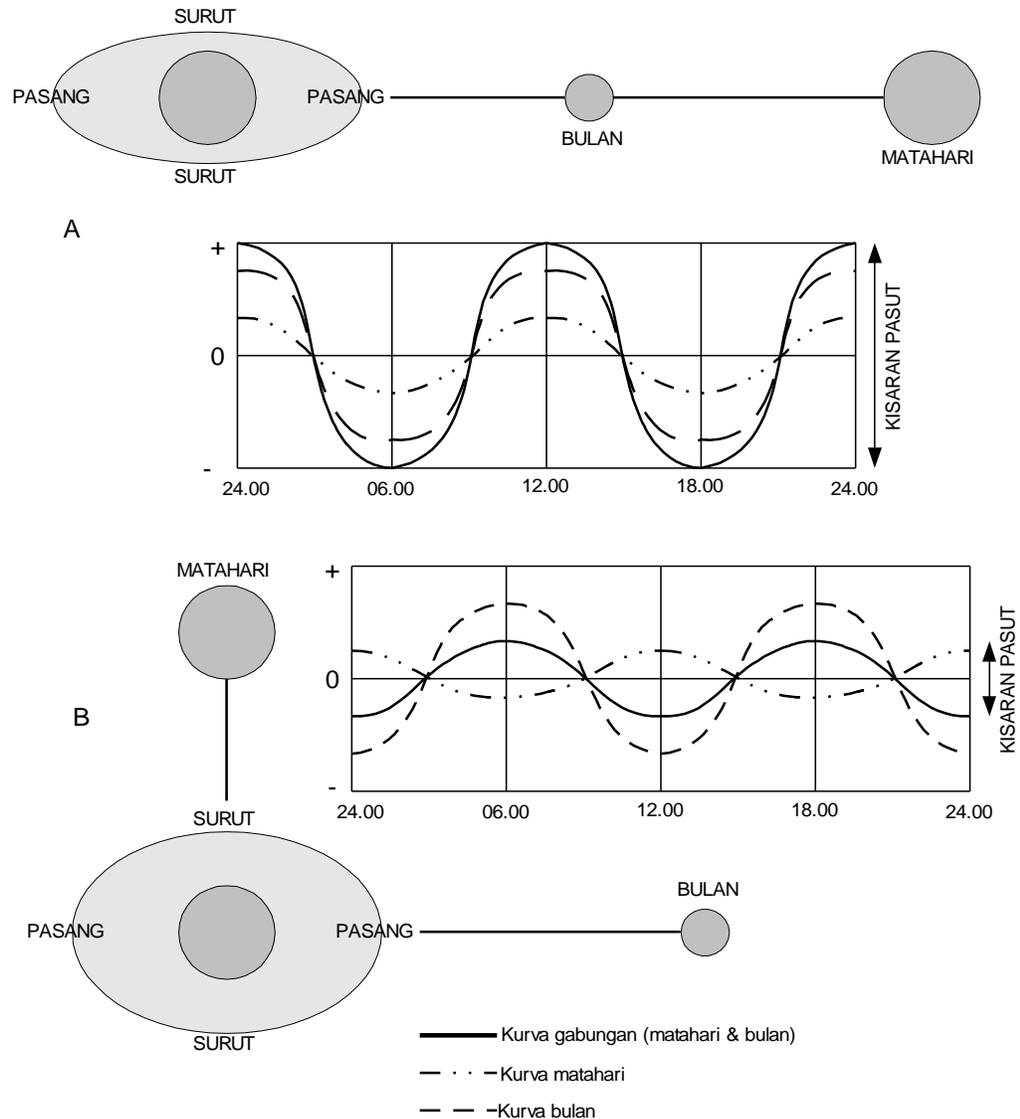
Arus dasar antartiks berasal dari air bawah permukaan (*sub-surface*) dengan suhu dan salinitas tinggi yang mengalir ke selatan dari Samudra Pasifik, Atlantik dan Hindia. Massa air tersebut secara cepat ke lapisan lebih dalam, antara 1.500 - 3.000 meter, dan salinitas secara cepat menurun juga. Pada 50° LS arus tersebut naik diantara arus dasar dan arus pertengahan antartiks, yang selanjutnya bercampur dengan air laut salinitas rendah yang berasal dari mencairnya es di pinggiran benua antartiks.

Sebenarnya aliran air yang mengitari antartiks tersebut sangat tergantung pada topografi dasar lautan, kepadatan air, salinitas, dan temperatur. Pada musim panas, jumlah es yang mencair relatif lebih banyak jika dibandingkan dengan pada musim dingin, sehingga pada musim panas salinitas arus intermedier antartiks adalah 34,1‰ dan salinitas arus dalam antartiks adalah 34,75‰.

### **5.2.2. Pasang surut**

Air pasang (high tide) dan air surut (low tide) nampak dengan jelas di pantai, yaitu dengan naik turunnya permukaan air laut secara teratur. Pasang surut ini pada dasarnya disebabkan oleh adanya perpindahan (gerakan) bulan mengelilingi bumi dan oleh posisi matahari terhadap bumi. Bumi dan bulan berputar satu terhadap yang lain pada pusat massa bersama, dan pusat tersebut berada di bumi. Karena jarak antara pusat bumi dan pusat bulan konstan, maka gaya sentrifugal sistem berputar bumi-bulan tersebut selalu seimbang dengan gaya gravitasi. Gaya sentrifugal setiap titik pada seluruh permukaan bumi adalah konstan, akan tetapi

titik yang terdekat pada bulan adalah yang terbesar dan yang terkecil adalah pada titik yang terjauh dari bulan (lihat **Gambar 5.5**).



**Gambar 5.5.** Hubungan Antara Peristiwa Pasang Surut dengan Peredaran Matahari dan Bulan. A = Pasang Surut Purnama (*Spring Tides*) dan B = Pasang Surut Perbani (*Neap Tides*)

Pada waktu gaya sentrifugal tersebut terbesar, maka air laut akan ditarik menjadi massa air yang besar (pasang - surut) mendekati bulan. Hal ini disebabkan oleh karena gaya gravitasi bulan adalah lebih besar dibandingkan gaya sentrifugal bumi

yang konstan tersebut. Sebaliknya pada titik yang terjauh dari bulan, air laut ditarik menjauhi bulan. Hal ini disebabkan karena gaya sentrifugal bumi lebih besar dari pada gaya gravitasi bulan. Akibatnya adalah terjadi dua air pasang setiap hari yang mengitari bumi, karena bumi berputar. Sedangkan air surut juga terjadi dua kali sehari dan terjadi diantara dua air pasang.

Periode air pasang utama tengah harian (semi diurnal tide) adalah 12 jam 25 menit dan ini ekuivalen atau sama dengan setengah penampakan bulan yang berputar mengelilingi bumi. Ini artinya bahwa urutan air pasang tersebut dipisahkan kira-kira 12,4 jam. Kondisi ini adalah kondisi umum, karena sebenarnya terdapat variasi geografis dan efek tambahan yang disebabkan oleh adanya interaksi antara matahari dan bulan.

Disamping pasang surut biasa yang terjadi dua kali sehari tersebut, terdapat pada pasang surut loncatan (pasang surut purnama/spring tide), yaitu pasang surut dengan amplitudo besar. Pasang surut ini disebabkan oleh karena medan gravitasi bulan dan matahari menarik air laut pada arah yang sama, dan keadaan ini terjadi ketika bulan baru atau bulan penuh. Amplitudo terbesar terjadi karena adanya peristiwa pasang tertinggi (*highest High Water Level – HHWL*) dan surut terendah (*Lowest Low Water Level – LLWL*). Diantara kedua jenis pasang surut tersebut terjadi tingkatan pasang yang kecil sampai sedang, yaitu pasang surut perbani (*Neap Tides*).

Sedangkan pasang surut perbani adalah pasang surut yang mempunyai amplitudo kecil, dan terjadi ketika perempat bulan pertama dan perempat bulan terakhir. Pasang surut ini terjadi karena gaya gravitasi matahari posisinya berada tegak lurus terhadap gaya gravitasi bulan, sehingga kedua gaya gravitasi tersebut memberikan efek yang kecil. Kedua pasang surut terakhir (pasang surut purnama dan perbani) terjadi dua kali dalam satu siklus bulan yang lamanya 28 hari, karena bulan mengitari bumi sekali dalam 28 hari.

Batas-batas dari setiap tingkatan pasang surut dapat dilihat dalam **Gambar 5.3**. Informasi sebagaimana dalam gambar tersebut sangat penting artinya bagi ahli akuakultur dan ahli pengelolaan sumberdaya perairan. Dalam pemilihan lokasi untuk budidaya tambak, data tersebut harus dikumpulkan secara serial. Dari informasi atau data tersebut akan dapat dihasilkan suatu disain-konstruksi tambak yang sesuai dalam kaitannya dengan manajemen air.

### 5.2.3. Kimia air laut

Dalam air laut terdapat berbagai ion organik yang pada dasarnya mempunyai konsentrasi relatif konstan, sekalipun ion-ion tersebut bergerak antara atmosfer, lithosfer dan hydrosfer melalui siklus bio-geokimia. Secara umum ion-ion anorganik yang terlarut pada air laut adalah seperti yang ditunjukkan melalui tabel berikut.

**Tabel 5.1.** Ion-ion Anorganik dalam Air Laut dengan Salinitas 35‰

NO	ION	SIMBOL KIMIA	KONSENTRASI (%)
<b>Unsur Utama (Konsentrasi &gt;100 ppm)</b>			
1	Klorida	Cl <sup>-</sup>	55,04
2	Natrium	Na <sup>+</sup>	30,61
3	Sulfat	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	7,68
4	Magnesium	Mg <sup>++</sup>	3,69
5	Kalsium	Ca <sup>++</sup>	1,16
6	Kalium	K <sup>+</sup>	1,10
<b>Unsur yang Sedikit (Konsentarsi 1 – 100 ppm)</b>			
1	Bromida	Br <sup>-</sup>	0,42
2	Carbon	C	0,18
3	Strontium	Sr <sup>++</sup>	0,05
4	Boron		0,03
5	Silika	Si(OH) <sub>3</sub>	0,02
6	Fluorida	F <sup>-</sup>	0,01

Sumber : Sumich dalam Brotowijoyo, dkk., (1995)

Sebenarnya masih banyak ion-ion lain yang terdapat dalam air laut, akan tetapi konsentrasinya relatif sangat kecil dengan konsentrasi kurang dari 1 ppm, seperti misalnya ion-ion nitrogen, lithium, Iodine, besi, seng, fosfat, dan molybdenum yang banyak berasal dari daratan, akan tetapi ion-ion tersebut cepat hilang pada air laut yang bersifat alkalis karena mengendap. Kebanyakan ion-ion tersebut waktu tinggalnya lebih pendek jika dibandingkan dengan waktu yang diperlukan dalam proses pencampuran air laut. Oleh karena itu, konsentrasinya cenderung berbeda-beda antara tempat yang satu dengan tempat yang lainnya. Disamping itu, beberapa ion tersebut tertimbun cukup banyak dalam tubuh biota-biota laut.

pH laut pada umumnya berkisar antara 7,6 - 8,3 dan terutama mengandung ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Air laut juga mengandung asam-asam lemah seperti asam karbonat (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) dan asam borak (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>). Karena asam-asam tersebut mempunyai

kemampuan berdisosiasi, maka terbentuklah sifat buffer dari air laut sebagai berikut :

- a) Bila kedalam lautan ditambahkan NaOH, maka  $H_2CO_3$ ,  $H_3BO_3$  akan lebih terdisosiasi dan pH air laut akan tetap konstan sampai  $H_2CO_3$  dan  $H_3BO_3$  tersebut terpakai semua.
- b) Bila kedalam air laut ditambahkan asam kuat seperti  $H_2SO_4$ , maka akan terjadi proses kebalikannya dan pH tetap konstan yaitu sekitar 7,6 - 8,3.

Pengukuran pH air laut relatif sulit untuk dilakukan, karena adanya pengaruh temperatur dan salinitas. Bila temperatur naik atau tekanan air naik, maka proses disosiasi akan merubah konstante disosiasi  $H_2CO_3$  dan akibatnya adalah pH turun yang juga diikuti oleh turunnya kadar oksigen.

Sedangkan temperatur adalah merupakan parameter yang paling mudah untuk diamati. Dalam kaitannya dengan ikan, maka setiap species ikan menghendaki temperatur yang optimum. Terjadinya perubahan temperatur secara musiman akan mempengaruhi perilaku kelompok ikan dan pengaruh ini akan berbeda antara species ikan yang satu dengan species ikan lainnya. Perubahan temperatur akan berpengaruh pada proses metabolisme ikan, sehingga dapat merubah aktivitas ikan dalam mencari makanan maupun pertumbuhan.

Ikan adalah hewan yang berdarah dingin, artinya temperatur tubuhnya tidak diatur secara internal, akan tetapi menyesuaikan diri dengan temperatur di sekelilingnya. Oleh karena itu metabolisme ikan sangat dipengaruhi oleh temperatur lingkungannya. Disamping berpengaruh pada proses metabolisme, perubahan temperatur ini juga dapat merangsang syaraf dan aktivitas hidup ikan.

Sementara salinitas air laut bebas, bervariasi antara 30 - 36‰ dan pada umumnya fertilisasi, perkembangan dan penetasan telur ikan berlangsung pada salinitas 5,9 - 52,5‰. Disamping itu, konsentrasi garam NaCl dalam cairan tubuh ikan juga dipengaruhi oleh salinitas atau kadar garam pada air laut. Ikan laut mempunyai sistem selektif dan sistem regulasi sebagai alat kontrol kadar garam dalam cairan tubuh yang disebut "*osmoregulasi*" yang dapat dilangsungkan pada insang maupun ginjal. Pelaksanaan osmoregulasi ini memerlukan energi dan dipengaruhi oleh perbedaan kadar oksigen antara lingkungan internal (dalam tubuh) dan lingkungan eksternal (di luar tubuh).

Lebih lanjut dapat dikemukakan bahwa toleransi terhadap variasi kadar NaCl adalah sangat tergantung pada umur/stadium ikan yaitu telur, larva, ikan muda dan ikan dewasa. Salinitas air laut ini juga berpengaruh pada reproduksi, daerah sebaran dan lama hidup ikan serta migrasi. Variasi salinitas ini dapat mengganggu regulasi osmotik dan menentukan telur-telur ikan melayang-layang di daerah pelagik. Perubahan salinitas pada dasarnya tidak berpengaruh langsung terhadap perilaku dan penyebaran ikan di laut, akan tetapi perubahan salinitas ini memberi petunjuk adanya perubahan sifat kimia air laut.

### **5.3. Komunitas Perairan Laut**

Walaupun perairan laut menutup sebagian besar permukaan bumi, namun jumlah spesies biota yang hidup dalam laut adalah jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan jumlah spesies biota yang hidup di daratan maupun perairan tawar. Menurut Brotowidjojo, dkk (1995) dan Laevastu and Larkins (1981) dikemukakan bahwa di daratan terdapat sekitar satu juta spesies biota, sementara di perairan laut terdapat sekitar 168.000 spesies biota. Dari jumlah spesies tersebut hanya sekitar 20.000 spesies merupakan spesies ikan laut, dan dua persen diantaranya atau sekitar 400 spesies hidup di laut dalam.

Organisme (hewan dan tumbuhan) di perairan laut secara garis besar terdiri dari kelompok organisme yang hidup di dasar perairan atau *benthic organisms* dan organisme yang melayang/berenang yaitu kelompok organisme pelagis atau *pelagic organisms*. Adapun anggota dari masing kelompok tersebut pembagiannya sama dengan pembagian kelompok organisme di ekosistem perairan tawar (**Bab 4**).

#### **5.3.1. Komposisi komunitas daerah dasar**

##### **a) Produsen**

Phytoplankton dari kelompok diatom dan dinoflagelata adalah produsen yang paling dominan di setiap tingkat tropik, termasuk didalamnya kelompok mikroflagelata. Organisme ini adalah suatu kelompok campuran yang dahulu terkumpul dalam istilah "*phytomastigina*" yaitu flagelata tumbuhan. Dari hasil pengamatan/penelitian para ahli diketahui bahwa diatome cenderung mendominasi di perairan Utama, sedangkan dinoflagelata dijumpai mendominasi perairan sub-tropik dan tropik. Kelompok organisme yang terakhir adalah organisme yang paling serbaguna, artinya organisme ini tidak hanya berfungsi sebagai autotroph saja akan tetapi beberapa jenis kadang-kadang berperan sebagai sapotroph atau pagotroph.

Di dekat pantai, algae bersel banyak atau ganggang laut juga mempunyai peranan penting dan kebanyakan melekat pada batuan atau dasar yang keras pada perairan dangkal. Ganggang laut ini melekat dengan menggunakan organnya dan sering kali membentuk hutan yang luas tepat di bawah garis air surut. Selain jenis tersebut, juga banyak dijumpai Phaeophyta laut atau ganggang coklat Rhodophyta atau ganggang merah. Ketiga kelompok ganggang ini juga menunjukkan distribusinya, dengan ganggang merah letaknya paling dalam. Karena coklat dan merah terjadi karena adanya pigmen yang menutupi klorofil hijau, dimana pigmen-pigmen ini membantu penyerapan sinar kuning kehijauan yang menembus kedalaman tertentu.

### **b) Konsumen**

Organisme zooplankton yang selama siklus hidupnya tetap sebagai plankton disebut sebagai "*Holoplankton*" seperti misalnya copepoda dan kelompok crustacea. Sementara protozoa plankton meliputi jenis foraminifera, radiolaria dan tintinid ciliates. Sedangkan zooplankton lainnya adalah dari jenis moluska (pteropoda dan heteropoda), ubur-ubur kecil (medusae) dan ctenopora serta cacing polychaete yang bebas melayang.

Kebanyakan benthos dan nekton pada phase larva ukurannya kecil sekali yang terganbung menjadi plankton dalam waktu tertentu. Sebelum menetap di dasar atau menjadi organisme yang bebas melayang. Dan satu aspek yang menarik dalam ekologi larva pelagik adalah kemampuannya untuk menemukan jenis dasar yang sesuai bagi kelangsungan hidupnya bila telah dewasa. Hasil penelitian Wilson dalam Odum (1971) menunjukkan bahwa larva polychaetes benthos tertentu tidak menetap pada sembarang tempat. Akan tetapi memberi reaksi terhadap kondisi kimia tertentu yang tidak sesuai dengan kebiasaannya. Apabila keadaan kimiawi dari daerah tersebut menarik, maka mereka akan meneruskan hidupnya secara planktonik selama beberapa minggu.

Sementara benthos laut ditandai oleh jumlah sesile yang sangat banyak, dan disini terdapat dua istilah yang digunakan secara luas untuk memisahkan dua komponen secara vertikal, yaitu :

- *Epifauna*, untuk organisme yang hidup di permukaan termasuk yang melekat maupun bergerak bebas di permukaan.

- *Infauna*, adalah organisme yang berada di lapisan bawah dan membentuk terowongan atau liang. Salah satu jenis yang menonjol dari kelompok ini adalah kepiting berbentuk emera yang mampu mundur menenggelamkan diri ke dalam pasir beberapa detik. Kepiting ini makan dengan jalan menjulurkan sungutnya yang berbulu ke atas pasir dan menangkap plankton dari air yang mengalir bila pasang naik tiba.

Pada perairan dalam (zona neritik), populasi pada umumnya tidak tersusun dalam zona konsentrik tetapi lebih seperti bentuk mosaik. Thorson (1955) mengemukakan adanya komunitas dasar tingkat paralel, yaitu penghuni tingkat dasar yang sama pada kedalaman yang sama dan tersebar luas di wilayah geografi. Komunitas paralel ini sering kali didominasi oleh genus yang sama, seperti misalnya di perairan dangkal dengan dasar campuran pasir-lumpur sering menampilkan kijing dari genus *Macoma*.

Konsumen nekton seperti halnya ikan dan crustacea yang lebih besar, penyu, mamalia (hiu, singa laut dan lain-lainnya) serta burung-burung laut merupakan perenang-perenang aktif yang menghuni *Clupeidae* termasuk Sardine dan anchovy.

Meskipun beberapa ikan dasar meletakkan telurnya di dasar dan menjaganya serta yang dilakukan oleh ikan air tawar, akan tetapi kebanyakan ikan laut termasuk yang pelagik meletakkan telur-telurnya mengambang dan tidak dihiraukan induknya. Dalam kaitan ini terdapat dua ciri penting ikan pelagis, yaitu

- kecenderungan untuk menyatu lainnya adalah Kelompok dan merupakan sifat yang sangat berharga di perairan terbuka tanpa pelindung.
- Kecenderungan untuk melakukan migrasi musiman.

Kelompok pemangsa penting lainnya adalah ikan hiu dan singa laut, penyu, burung laut yang merupakan konsumen tersier dan penghubung antara daratan dan lautan. Hal ini disebabkan karena mereka berkembang biak di daratan, akan tetapi makanannya berasal dari laut. Oleh karena itu, binatang yang bernafas dari udara ini merupakan bagian dari mata rantai makanan di laut seperti halnya ikan dan invertebrata yang menjadi makanannya.

## BAB VI

## EKOLOGI ESTUARI

### 6.1. Ruang Lingkup dan Pengertian

Beberapa ahli mendefinisikan estuari sebagai suatu daerah perairan tempat bertemunya air tawar dari sungai dan air laut. Dalam hal ini, pembentukan daerah estuari diawali dari suatu aliran sungai yang menuju laut, dimana daerah ini dapat berupa muara sungai yang sangat lebar, rawa-rawa pantai atau merupakan daerah pertambakan yang tidak lepas dari pengaruh air laut dan air tawar. McLusky (1981) menyatakan bahwa ekosistem estuary merupakan habitat transisi atau pertengahan antara ekosistem laut, daratan, dan ekosistem air tawar yang menimbulkan suatu percampuran yang dinamis dan kompleks dari keadaan transisi tersebut. Dalam ekosistem yang dinamis tersebut menunjukkan variasi yang besar baik aspek lingkungan fisik maupun kimianya. Dinamika tersebut sangat terkait dengan pola distribusi salinitas, kekuatan arus, amplitudo pasang surut, kekuatan ombak, pengendapan sedimen, suhu, oksigen, serta penyediaan unsure hara. Dengan demikian, setiap daerah estuari keadaannya berlainan dan tergantung dari susunan serta banyaknya materi yang terbawa aliran sungai.

Materi dari laut yang mengendap di sepanjang pantai jumlahnya lebih sedikit dibandingkan lumpur yang terbawa oleh aliran sungai. Suatu aliran sungai yang besar dapat membawa beribu-ribu ton lumpur yang kemudian mengendap di laut. Bagian lumpur yang kasar mengendap di dekat muara dan kemudian dapat berubah menjadi "delta". Sedangkan bagian lumpur yang halus baru dapat mengendap setelah terjadi pencampuran yang sempurna dengan senyawa-senyawa garam laut. Jadi lumpur yang halus tidak mengendap pada delta-delta, tetapi jauh ke tengah laut, dan bahkan kadang-kadang jauh sekali dari muara sungai. Tanah endapan yang mencapai ketinggian sama dengan permukaan air pasang ditumbuhi pohon bakau. Pada awalnya, jenis pohon bakau ini didominasi oleh jenis api-api (*Avicennia* sp.) yang pada akhirnya membentuk suatu hutan yang terdiri dari berbagai jenis pohon bakau.

Pembentukan daratan ini berlangsung terus menerus dan setiap air pasang akan mengendap lapisan lumpur baru, dan pada proses pengendapan ini pohon bakau mempunyai peranan yang sangat penting. Peristiwa pengendapan berlangsung lebih

cepat dengan adanya belukar dan rumput-rumput yang menghasilkan bahan organik. Akar dari berbagai pohon bakau ini mampu memberi kekuatan yang efektif pada tanah baru, dengan mencegah hanyutnya lumpur oleh pengikisan air laut. Hal ini disebabkan oleh karena sistem perakarannya dapat menstabilkan tanah lembek yang baru mengendap dengan cara memaku atau seakan-akan mecengkram lumpur, hingga menjadi tanah yang lebih keras.

Selain pengendapan lumpur dari sungai dan laut, daerah estuari dapat terbentuk karena muara sungai yang berpindah tempat. Hal ini terjadi karena susunan tanah yang tidak kuat memaku derasnya aliran air sungai dan besarnya aliran sungai yang tidak tetap. Biasanya keadaan ini terjadi pada sungai yang berhulu di daerah-daerah gersang (gundul), sehingga airnya banyak dipengaruhi oleh hujan. Keadaan ini mengakibatkan pada musim kemarau airnya kecil dan sebaliknya pada musim hujan aliran air besar sekali, sering kali melimpah membentuk aliran baru dan bagian muara sungai berpindah dari tempat asalnya.

Proses-proses alam yang terjadi di ekosistem estuary, menyebabkan estuary sebagai habitat disejajarkan dengan ekosistem hutan hujan tropik dan ekosistem terumbu karang yaitu sebagai ekosistem produktif alami. Ekosistem estuary cenderung lebih produktif dibanding dengan ekosistem-ekosistem pembentuknya, yaitu perairan tawar dan perairan laut. Hal ini dikarenakan oleh beberapa penyebab, yaitu:

- Estuary merupakan sejenis perangkap nutrien (*nutrient trap*). Terjadinya pertemuan dua gaya yang berlawanan yaitu gaya yang berasal dari masa air laut dan gaya yang berasal dari masa air tawar dari sungai menyebabkan terendapkannya partikel-partikel tersuspensi dan bahan-bahan lain yang terdapat didalamnya. Oleh karena itu, daerah estuary mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi. Namun demikian, di sisi lain, kenyataan tersebut sering kali juga merugikan apabila ternyata masa air yang bertemu tersebut mengandung bahan-bahan pencemar (*pollutants*) yang berbahaya sehingga estuary akan menjadi keranjang sampah penampung bahan pencemar.
- Estuary mempunyai kelompok produsen yang lengkap, yaitu meliputi makrofita, mikrofitanya bentik, dan phytoplankton. Kelengkapan tersebut akan sangat menentukan jenis, jumlah dan struktur tingkat trofik selanjutnya, yaitu ditingkat konsumen.
- Terjadinya peristiwa pasang surut memungkinkan ekosistem estuary untuk mencuci sendiri arealnya apabila ternyata banyak endapan yang kurang menguntungkan dan

pada saat bersamaan air yang masuk juga merupakan pemasok nutrisi yang terbawa dari laut maupun daerah hulu.

Ekosistem estuari, ditinjau dari sudut geomorfologi dapat dikelompokkan menjadi beberapa tipe umum, diantaranya adalah :

**a) Estuari dataran pesisir**

Estuari ini terbentuk pada akhir zaman es, ketika permukaan air laut naik menggenangi lembah sungai di pantai yang rendah. Estuari jenis ini, menurut Pritchard (1967) dalam Odum (1971), disebut lembah sungai yang tergenang. Ekosistem ini paling luas berkembang di sepanjang garis pantai dengan dataran pantai yang rendah rendah, datar dan luas.

**b) Estuari tektonik**

Pada tipe estuari ini, laut menggenangi daratan karena turunnya permukaan daratan dan bukan karena naiknya permukaan air laut. Permukaan daratan yang menurun tersebut tidak hanya diisi oleh air laut saja tetapi juga sering kali terisi oleh sejumlah besar masa air tawar.

**c) Teluk semi tertutup**

Bentang pasir terbentuk sejajar dengan garis pantai dan sebagian memisahkan perairan yang terdapat dibelakangnya dari laut. Keadaan ini menciptakan suatu gobah atau cekungan yang dangkal di belakang bentang pasir, yang menampung debit air tawar dari daratan. Air dalam gobah seperti ini bervariasi salinitasnya dan sangat bergantung pada iklim, ada atau tidaknya aliran sungai ke dalam gobah dan sampai sejauh mana bentang pasir membatasi jalan masuk air laut. Estuary yang terbentuk dari cekungan tersebut masih mempunyai hubungan dengan laut lepas karena tanggul atau bentang pasirnya sering kali terputus-putus oleh adanya aliran air.

**d) Estuari tipe Fjord**

Fjord pada dasarnya merupakan lembah yang telah diperdalam oleh kegiatan glasier dan kemudian digenangi laut. Fjord mempunyai ciri khas berupa suatu ambang yang dangkal pada mulutnya, sehingga membatasi pertukaran air antara perairan yang lebih dalam dari fjord dengan laut.

Estuari dapat juga diklasifikasikan dengan cara lain, tergantung pada proses terbentuknya gradien salinitas. Pada kebanyakan estuari, terdapat gradien salinitas mulai dari air laut

(33 - 37‰) pada bagian mulutnya sampai dengan air tawar di bagian hulunya. Pencampuran akan terjadi apabila keduanya saling bersentuhan, tetapi sejauhmana pencampuran ini terjadi adalah tergantung pada banyak faktor lingkungan lainnya termasuk besar kecilnya pasang surut dan aliran sungai. Berdasarkan kondisi ini, McLusky (1981) mengelompokkan estuari ini menjadi tiga yaitu :

**a) Estuari positif**

Pada estuari ini, aliran air tawar lebih besar dibandingkan tingkat penguapan yang terjadi dan air laut masuk ke daerah estuari sepanjang dasar perairan untuk kemudian bercampur dengan air tawar secara vertikal. Keadaan ini mengakibatkan pada permukaan perairan cenderung tawar, sedangkan bagian yang lebih dalam mempunyai salinitas yang tinggi, seperti dapat dilihat pada **Gambar 6.1**.

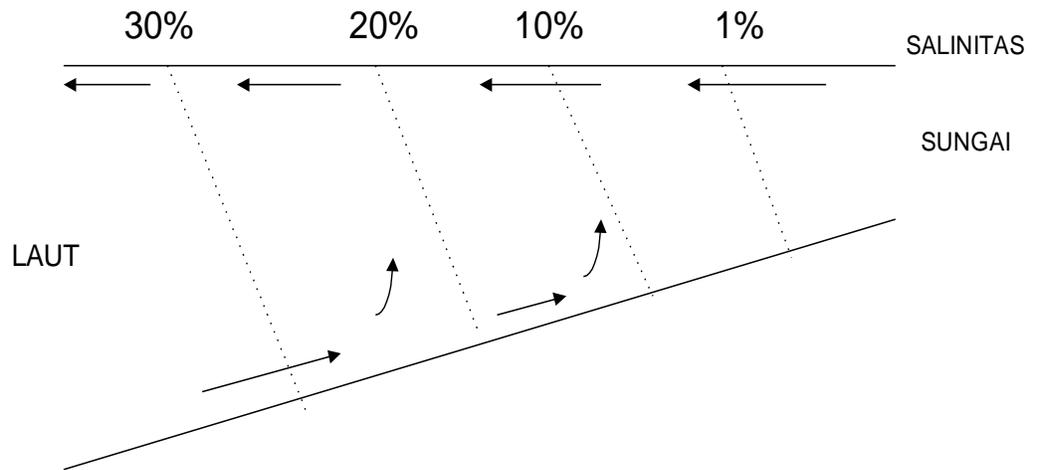
**b) Estuari Negatif**

Estuari ini merupakan kebalikan dari estuari positif, dimana aliran air tawar yang berasal dari sungai lebih kecil dari penguapan yang terjadi. Tipe ini banyak ditemukan di daerah tropis dan umumnya terjadi pada musim panas, dan akibatnya bagian permukaan perairan cenderung mempunyai salinitas yang lebih tinggi dibandingkan di dasar. Air tawar dan air laut masuk ke wilayah estuary pada lapisan permukaan perairan.

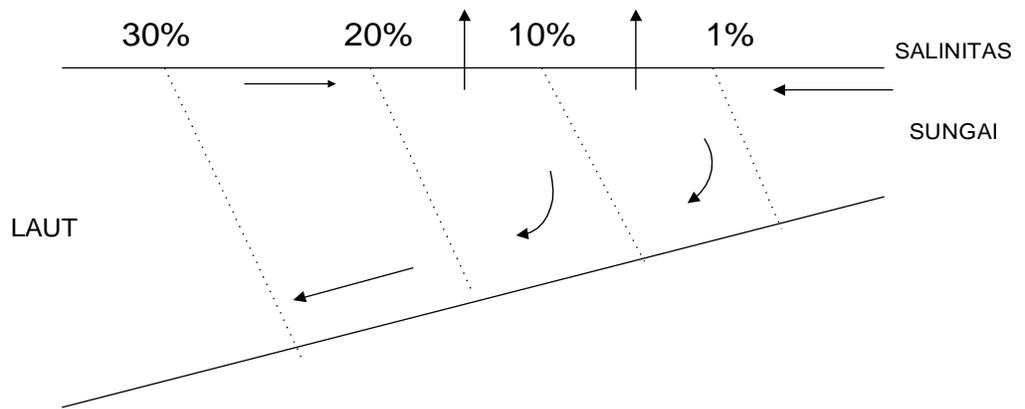
**c) Estuari netral**

Disini aliran air tawar yang berasal dari sungai besarnya sama dengan tingkat penguapan dan keadaan ini mengakibatkan perairan estuari berada diantara estuari positif dan estuari negatif.

Pada estuari dimana terdapat aliran air tawar yang cukup memadai dan tingkat penguapan yang rendah, maka air tawar akan bergerak keluar di atas air laut (air asin) untuk kemudian bercampur didekat permukaan. Dengan demikian akan terjadi penurunan salinitas dibagian permukaan dan pada bagian perairan yang lebih dalam, salinitas perairan akan tetap tinggi. Dalam keadaan yang demikian, penampang melintang estuari akan memperlihatkan isohalin dan menjorok kearah hulu pada bagian dasar (Nybakken, 1992).



**Gambar 6.1.** Estuari positif



**Gambar 6.2.** Estuari negatif

## **6.2. Sifat Perairan Estuari**

Kondisi fisika dan kimia perairan estuari pada umumnya mempunyai variasi yang sangat besar, dan kondisi ini sering kali mengakibatkan organisme yang ada di dalamnya menjadi tertekan. Hal ini mengakibatkan jumlah species yang hidup di daerah estuari menjadi lebih sedikit dibandingkan dengan habitat perairan lainnya seperti perairan tawar dan laut. Untuk itu, berikut ini akan dibahas parameter-parameter penting yang perlu mendapatkan perhatian.

### **6.2.1. Substrat**

Perairan estuari pada umumnya didominasi oleh substrat berlumpur yang bersifat lunak. Substrat berlumpur ini berasal dari sedimen yang dibawa ke dalam estuari baik oleh air laut maupun air tawar. Air tawar yang mengalir melalui sungai mengangkut partikel lumpur dalam bentuk suspensi dan ketika partikel tersuspensi ini bercampur dengan air laut yang mengandung berbagai ion di estuari, maka akan terjadi penggumpalan partikel lumpur membentuk partikel yang lebih besar dan lebih berat. Partikel-partikel ini kemudian mengendap dan membentuk dasar lumpur yang khas. Pengendapan terjadi dikaitkan dengan dua factor utama, yaitu kecepatan arus dan diameter partikel (McLusky, 1981).

Air laut juga mengangkut cukup banyak materi tersuspensi, dimana ketika air laut memasuki daerah estuari yang terlindung akan mengakibatkan gerakannya menjadi berkurang. Akibat gerakan air yang berkurang yang selama ini mempertahankan berbagai partikel dalam keadaan tersuspensi adalah terjadinya pengendapan yang dapat membentuk substrat lumpur atau pasir. Dan peran partikel yang dibawa oleh air tawar maupun air laut tidaklah sama dari estuari yang satu dengan estuari yang lainnya di dalam pembentukan substrat lumpur. Karena hal ini sangat tergantung pada letak geografisnya.

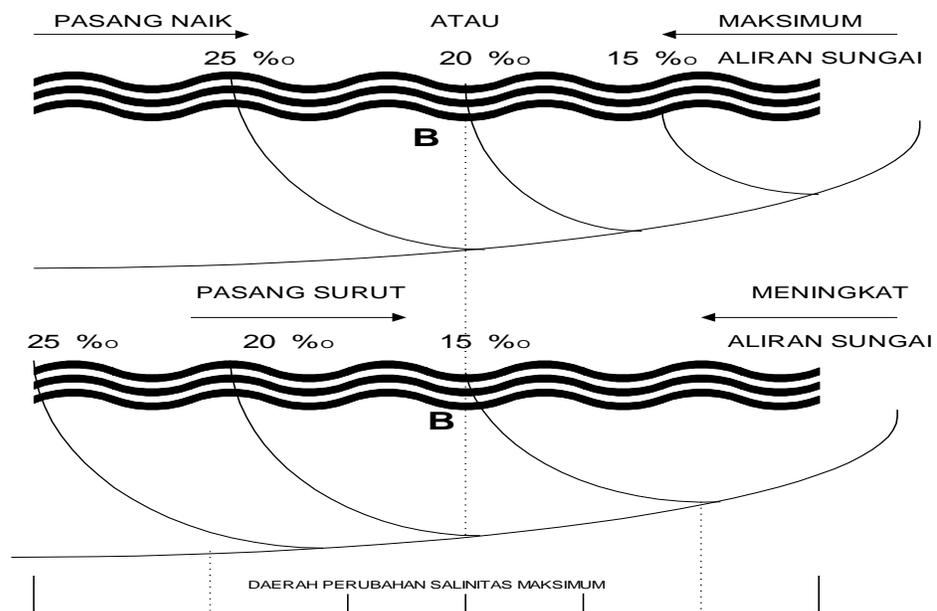
Pengendapan partikel juga tergantung pada arus dan ukurannya, dimana partikel yang lebih besar akan mengendap lebih cepat dibandingkan dengan partikel yang lebih kecil. Disamping itu, arus yang kuat akan mampu mempertahankan partikel dalam suspensi lebih lama dibandingkan dengan arus yang lemah. Hal ini mengakibatkan substrat pada tempat yang arusnya kuat akan cenderung menjadi kasar, karena hanya partikel-partikel besar yang akan mengendap. McLusky (1981) menyatakan bahwa butiran dengan diameter 1 cm akan mengendap bila

kecepatan arusnya < 90 cm/detik, pasir halus berdiameter 0,1 mm mengendap pada kecepatan arus < 15 cm/detik.

Lebih lanjut dapat dikemukakan bahwa diantara partikel yang mengendap diestuari adalah kebanyakan bersifat organik, sehingga substrat yang terbentuk sangat kaya akan bahan organik. Bahan inilah yang kemudian menjadi cadangan makanan bagi organisme yang ada di estuari.

### 6.2.2. Salinitas

Salah satu ciri dominan dari perairan estuari adalah terjadinya fluktuasi salinitas yang kemudian membentuk gradien, dimana gradien salinitas ini sangat tergantung pada musim, topografi estuari, pasang surut dan jumlah air tawar. Tempat yang perbedaan pasang surutnya cukup besar akan dapat mengakibatkan pasang naik mendorong air laut lebih jauh ke hulu estuari dan sekaligus juga menggeser isohalin ke hulu. Sebaliknya pasang turun akan menggeser isohalin kebagian hilir. Akibatnya terdapat daerah di estuari yang salinitasnya berubah sesuai dengan keadaan pasang surut, dan fluktuasi salinitasnya adalah maksimum. Untuk lebih jelasnya, kejadian ini dapat digambarkan sebagai berikut:



**Gambar 6.3.** Perubahan salinitas di perairan estuari

Perubahan salinitas di perairan estuari di pengaruhi oleh adanya ketinggian pasang dan atau perubahan debit air sungai. Titik A dan B tetap berada pada posisi yang sama, akan tetapi titik B merupakan daerah pasang surut dan tergenang air hanya pada pasang naik. Karena B hanya tertutup air pada waktu pasang naik, maka tempat ini hanya tergenang oleh air bersalinitas tinggi dan tidak dipengaruhi oleh air bersalinitas rendah pada saat pasang turun. Sementara titik A adalah sebaliknya, yaitu tertutup oleh air yang berbeda salinitasnya pada tingkat pasang yang berbeda.

Sedangkan perubahan salinitas musiman pada umumnya terjadi karena adanya perubahan penguapan yang bersifat musiman atau berubah aliran air tawar musiman. Di daerah dimana debit air tawar berkurang atau kering, salinitas tertinggi akan dijumpai pada daerah yang lebih jauh ke bagian hulu. Dan dengan mulainya kenaikan aliran air tawar, maka gradien salinitas akan tergeser ke bagian hilir (mulut estuari).

### **6.2.3. Suhu**

Suhu air di perairan estuari cenderung lebih bervariasi jika dibandingkan dengan suhu air di pantai sekitarnya. Hal ini disebabkan karena volume air di estuari adalah lebih kecil dan luas permukaannya lebih besar, sehingga pada kondisi yang ada air estuari akan lebih cepat panas dan lebih cepat dingin. Faktor lain yang mempengaruhi variasi suhu air di daerah estuari adalah masuknya air tawar, dimana sungai yang berada di daerah beriklim sedang suhunya lebih rendah di musim dingin dan lebih tinggi di musim panas. Dan ketika air tawar masuk ke daerah estuari dan bercampur dengan air laut, maka akan terjadi perubahan suhu. Akibatnya, suhu di perairan estuari cenderung akan berbeda jika dibandingkan dengan suhu perairan yang ada di sekitarnya.

Suhu perairan estuari ini juga terjadi secara vertikal, dimana perairan permukaan mempunyai kisaran yang lebih besar jika dibandingkan dengan kisaran suhu yang terjadi di bagian perairan yang lebih dalam. Keadaan ini sangat tergantung oleh berbagai faktor seperti kekuatan/besarnya pasang surut, intensitas cahaya matahari sebagai akibat dari pengaruh musim dan lain sebagainya.

#### **6.2.4. Kekeuhan**

Besarnya jumlah partikel tersuspensi pada perairan estuari dapat mengakibatkan air menjadi keruh, dan kekeuhan tertinggi akan terjadi pada saat aliran sungai maksimum. Tingkat kekeuhan minimum pada umumnya terjadi di dekat mulut estuari, karena sepenuhnya berupa air laut dan makin meningkat bila menjauh ke arah pedalaman. Kekeuhan estuari akan makin mendekati fungsi konsentrasi plankton dan kecepatan angin yang dapat menghasilkan resuspensi.

Pengaruh ekologi utama dari kekeuhan adalah penurunan penetrasi cahaya secara mencolok. Keadaan ini akan mengakibatkan menurunnya kegiatan fotosintesa dari phytoplankton dan tumbuhnya benthik, yang pada akhirnya dapat menurunkan produktivitas perairan. Pada kondisi kekeuhan yang tinggi, produksi phytoplankton dapat diabaikan dan produksi utamanya adalah bahan organik dari tumbuhan air yang mencuat ke atas.

#### **6.2.5. Oksigen**

Masuknya air tawar dan air laut secara teratur ke dalam estuari yang dibarengi dengan proses pendangkalan, pengadukan dan pencampuran oleh angin mengakibatkan persediaan oksigen berada dalam jumlah yang cukup. Selanjutnya karena kelarutan oksigen di dalam air berkurang dengan naiknya suhu dan salinitas, mengakibatkan jumlah oksigen dalam air bervariasi sesuai dengan variasi parameter tersebut. Di perairan estuari pada musim panas, dimana termoklin dapat terbentuk dan terdapat stratifikasi salinitas vertikal, disamping terjadinya pertukaran antara perairan permukaan yang kaya oksigen dengan perairan di bagian dalam.

Terisolasinya perairan di bagian dalam dari pencampuran dengan sumber oksigen akan dibarengi dengan tingginya aktivitas biologis. Sementara di bagian dasar, tingginya kandungan bahan organik dan tingginya populasi bakteri pada sedimen, akan mengakibatkan tingginya kebutuhan oksigen di perairan tersebut. Disamping itu, ukuran partikel sedimen yang halus akan dapat juga membatasi pertukaran air di bagian dasar dengan lapisan air di atasnya, sehingga oksigen sangat cepat berkurang. Oleh karena itu, sedimen estuari pada umumnya bersifat *anoksik*, kecuali apabila ukuran partikelnya besar atau terdapat banyak binatang yang menggali lubang.

### 6.3. Komunitas perairan estuari

Variasi dari sifat perairan estuari terutama yang berkaitan dengan fluktuasi salinitas dan suhu perairan, membuat perairan estuari menjadi habitat yang menekan dan keras bagi kehidupan. Dalam hal ini, organisme-organisme yang dapat bertahan hidup dan membentuk koloni di perairan ini hanyalah organisme-organisme yang mempunyai kemampuan adaptasi tinggi. Organisme tersebut dapat berasal dari organisme lautan, organisme air tawar atau organisme estuari itu sendiri.

Komponen organisme estuary adalah merupakan yang terbatas dalam jumlah species, dan dapat didibedakan menjadi beberapa kelompok, yaitu :

- a) Organisme Laut stenohaline (*Stenohaline marine organisms*), merupakan kelompok organisme yang tidak mampu atau mempunyai kemampuan yang terbatas di dalam mentolerir perubahan salinitas. Kelompok ini pada umumnya terbatas berada di sekitar mulut estuari yang mempunyai salinitas sampai 25‰.
- b) Organisme Laut Eurihaline (*Euryhaline Marine Organisms*), merupakan binatang/organisme khas laut yang mempunyai kemampuan mentolerir berbagai penurunan salinitas yang relatif rendah. Kelompok organisme ini merupakan penghuni utama di ekosistem estuary dengan penyebaran mulai dari laut hingga mencapai bagian tengah estuary. Species semacam ini mampu menembus hulu estuari dengan kejauhan yang bervariasi, beberapa jenis ikan tidak ditemukan pada salinitas 18‰ tetapi beberapa yang lain, dari kelompok ini, ternyata masih ditemukan diperairan dengan salinitas mencapai 5‰.
- c) *Oligohaline Organisms*, adalah kelompok organisme hidup di perairan sungai dan ekosistem air tawar yang lain dengan nilai salinitas rendah. Kemampuan untuk mengadaptasi salinitas juga rendah sangat rendah, tidak mampu mengadaptasi salinitas lebih dari 0,1‰, tetapi terdapat juga beberapa jenis yang mampu mengadaptasi hingga salinitas 5‰. Oleh karena itu, organisme ini hanya ditemukan di bagian hulu estuary.
- d) *Migrant Organisms*, pada daerah estuari juga dijumpai kelompok peralihan seperti halnya ikan-ikan yang melakukan migrasi dan melewati estuari dalam perjalanannya ke daerah pemijahan baik di air tawar maupun di laut. Kelompok ini juga termasuk organisme yang hanya menghabiskan sebagian daur hidupnya di estuari. Biasanya fase juvenilnya terdapat di estuari, sedangkan yang dewasa di laut. Contoh penting dari organisme ini adalah beberapa jenis udang seperti udang windu (*Penaeus monodon*), udang putih (*Penaeus merguensis*) dan lain sebagainya.

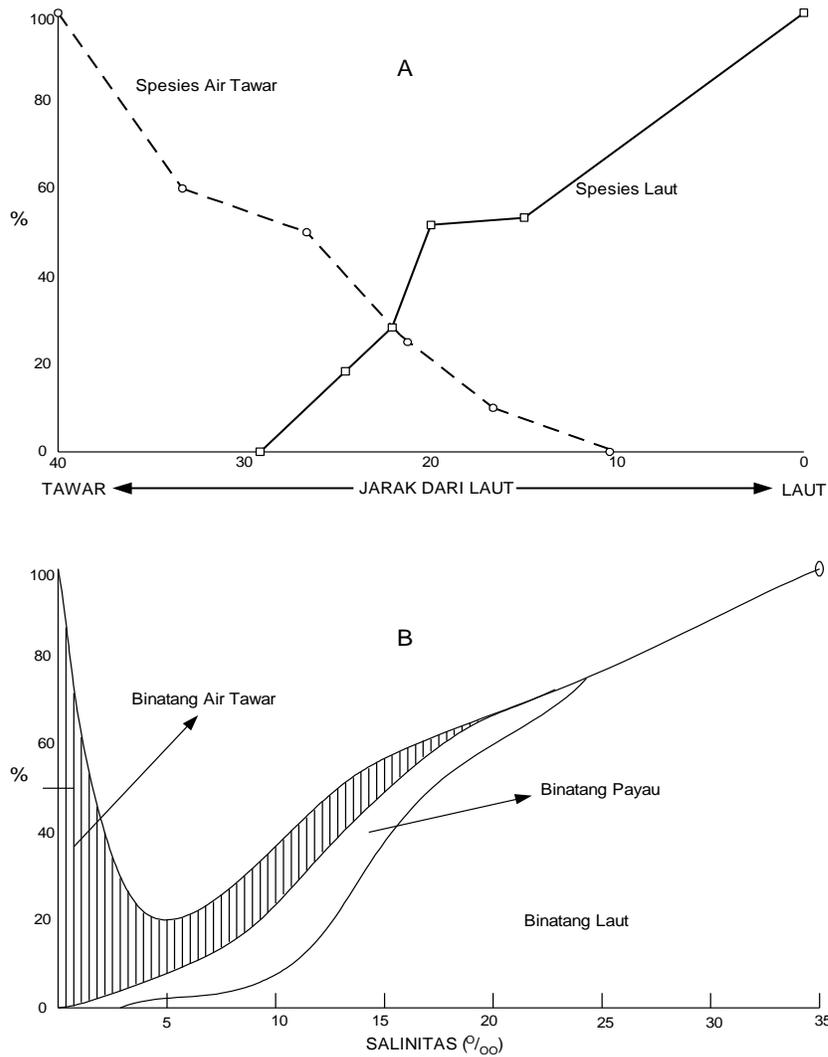
- e) Organisme Estuari (*True Estuarine Organisms*); adalah organisme yang memiliki kemiripan dengan organisme laut dan mendiami bagian tengah dari estuari. Dikaitkan dengan persyaratan salinitas untuk hidupnya, pada prinsipnya, kelompok ini mampu untuk hidup di ekosistem perairan laut tetapi tidak ditemukan di perairan laut. Hal ini kemungkinan disebabkan factor-faktor lain, selain salinitas, yang tidak mendukung keberadaannya, seperti adanya kompetisi dan pemangsaan.

Jumlah species organisme yang mendiami perairan estuari pada umumnya jauh lebih sedikit jika dibandingkan jumlah species yang dijumpai di perairan tawar maupun laut (Barnes, 1974). Hal ini disebabkan oleh karena ketidak mampuan organisme air tawar mentolerir kenaikan salinitas atau sebaliknya organisme laut mentolerir penurunan salinitas yang terjadi di daerah estuari. Kenyataan juga menunjukkan bahwa daerah estuari lebih banyak dihuni oleh organisme laut. Penetrasi kedua kelompok organisme tersebut (laut & air tawar) ke dalam ekosistem estuary dapat dilihat dalam **Gambar 6.4**.

Daerah estuari juga dianggap miskin akan flora, karena hampir seluruh bagian estuari yang terus menerus terendam air terdiri dari substrat lumpur dan tidak sesuai untuk melekatnya makroalga. Disamping itu, kondisi air yang keruh telah membatasi penetrasi cahaya matahari yang sangat berperan dalam proses fotosintesa. Keadaan ini mengakibatkan hanya pada lapisan air teratas dan zona intertidal yang mempunyai beberapa jenis flora dengan jumlah yang terbatas.

Dataran lumpur intertidal ditumbuhi oleh sejumlah kecil species alga hijau seperti kelompok *ulva*, *enteromorpha*, *chaetomorpha*, *cladophora*, dan lain sebagainya. Alga ini umumnya bersifat musiman, artinya melimpah di suatu musim dan tidak nampak di musim lain. Disamping itu, dataran lumpur estuari sering kali banyak mengandung flora diatom yang bersifat motil dan melakukan pola migrasi ritmik, bergerak kepermukaan atau turun kedalam lumpur sesuai pola penyinaran. Diatom juga sering mendominasi misalnya jenis *skeletonema*, *Asterionella*, *Chaetoceros*, *Nitzchia* dan lain sebagainya.

Kekeruhan yang tinggi dan cepatnya penggelontoran/pergantian air dapat membatasi jumlah phitoplankton dan produktivitas di perairan estuari. Akan tetapi pada daerah estuari yang mempunyai tingkat kekeruhan yang rendah dan waktu pergantian air panjang akan mengakibatkan produktivitas yang relatif tinggi. Hal ini mengakibatkan setiap daerah estuari dapat sangat berbeda antara yang satu dengan lainnya dalam hal produktivitasnya.



**Gambar 6.4.** Kemampuan Penetrasi Hewan (Laut, Payau, dan Air Tawar) ke Perairan Estuari Dikaitkan dengan Tingkat Salinitas; pada Grafik (A) Kasus untuk Organisme Masuk ke Substrat (*Burrowing Species*) dan Nilai % adalah Relatif terhadap Laut & Sungai

**BAB VII**

**USAHA PERIKANAN DALAM  
PERSPEKTIF EKOLOGI**

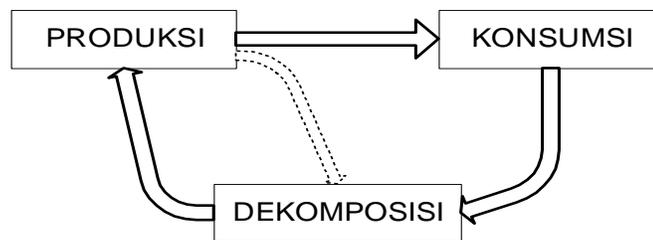
Dalam bab-bab sebelumnya telah diuraikan permasalahan yang berhubungan dengan ekologi. Ekologi sebagai suatu ilmu sangat berkaitan erat dalam pelaksanaan kegiatan usaha perikanan, dimana akan diulas dalam bab ini. Dalam bab ini pembahasannya akan dihubungkan baik dengan kegiatan penangkapan ikan maupun perikanan budidaya. Namun demikian, sudut pandangnya adalah aspek pengelolaan sumberdaya perairan dan budidaya.

Kegiatan produksi di bidang perikanan, secara garis besar, dapat dibedakan menjadi kegiatan penangkapan ikan dan kegiatan budidaya ikan. Kegiatan penangkapan adalah kegiatan untuk memanfaatkan sumberdaya perikanan yang terdapat di alam baik yang terdapat di ekosistem perairan tawar, payau dan ekosistem laut. Oleh karena itu, tingkat produksi penangkapan sangat erat kaitannya dengan keberadaan sumberdaya perikanan yang merupakan objek dari kegiatan penangkapan. Sementara itu, usaha bidang perikanan budidaya mempunyai karakteristik yang berbeda dalam melakukan proses produksinya berkenaan dengan sumberdaya perikanan. Kegiatan budidaya adalah suatu kegiatan untuk memelihara organisme akuatik yang meliputi ikan, moluska, krustacea, dan tanaman air (*aquatic plant*). Proses produksi budidaya dilakukan dalam suatu wadah yang terbatas dan umumnya dikontrol. Tingkat dan jenis pengontrolan terhadap areal budidaya tersebut mulai dari yang paling sederhana, tradisional, hingga yang paling maju atau intensif.

Ditinjau dari kaca mata pandang ekologi, maka kegiatan perikanan akan berhubungan dengan beberapa komponen ekosistem daerah penangkapan atau wadah untuk budidaya, yaitu organisme yang merupakan objek kegiatan dan lingkungannya. Dengan menggunakan teknologi, manusia berupaya untuk mengontrol interaksi komponen-komponen tersebut agar mencapai hasil yang diharapkan.

### 7.1 Ekologi Produksi Penangkapan Ikan

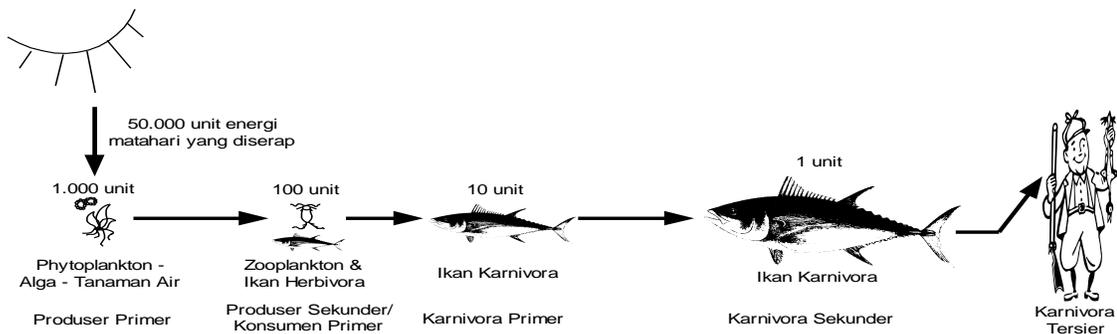
Ekosistem, secara umum, termasuk ekosistem perairan dimana kegiatan perikanan dilakukan, secara alami terdapat 3 (tiga) proses ekologi, yaitu *produksi*, *konsumsi*, dan *dekomposisi* (lihat **Gambar 7.1**). Fungsi ekologi produksi dilakukan oleh kelompok organisme autotrof melalui proses fotosintesa. Fungsi konsumsi dilakukan oleh kelompok organisme heterotrof yang meliputi organisme herbivora, omnivora, dan karnivora. Adapun fungsi dekomposisi dilakukan oleh kelompok organisme pengurai. Fungsi yang disebut terakhir merupakan fungsi yang menghubungkan kedua fungsi ekologi lainnya menjadi suatu lingkaran yang tidak terputus. Dalam kehidupan sehari-hari, juga dalam bidang perikanan, apabila fungsi dekomposisi tersebut tidak berjalan maka akan timbul masalah penumpukan bahan organik atau sampah.



**Gambar 7.1.** Skema Proses Ekologi di Ekosistem Alam

Kegiatan perikanan baik penangkapan maupun budidaya adalah kegiatan ekonomi yang memanfaatkan ketiga proses ekologi tersebut. Perikanan tangkap adalah kegiatan yang bersifat ekstraktif atau menggali sumberdaya dari alam. Oleh karena itu, tingkat produksinya akan terkait dengan kondisi energi dan material yang terlibat dalam rantai/jaringan makanannya (*food-chain/-web*) dan sedikit atau dapat dikatakan tidak ada upaya manipulasi lingkungan untuk meningkatkan produktivitas. Kegiatan penangkapan, dalam **Gambar 7.1** menempati posisi konsumsi. Adapun fungsi produksi dan dekomposisi sepenuhnya tergantung pada proses alami. Namun demikian, di negara-negara maju khususnya di Jepang, sudah memanipulasi fungsi produksi untuk meningkatkan hasil tangkapannya, yaitu melalui perbaikan habitat dengan menggunakan karang-karang buatan (*artificial reef*) yang dikenal dengan *Marine Ranching System*.

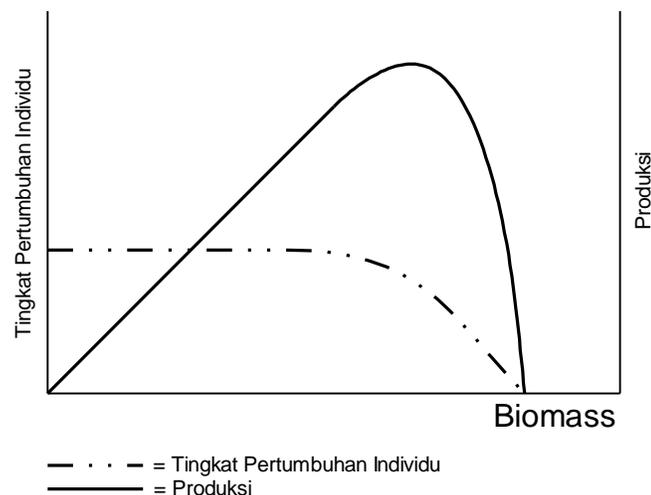
Produktivitas ekosistem perairan tergantung kepada kemampuan atau kapasitas ekosistem tersebut dalam menangkap energi matahari serta perjalanan energi tersebut melalui semua rantai (tingkatan trofik) dalam rantai makanannya. Ekosistem perairan, umumnya, terdiri dari 4 – 6 tingkatan trofik. Mata rantai pertama yang berfungsi sebagai produser primer (*primary producer*), yaitu phytoplankton, algae/tanaman air (*aquatic plants*) mengikat energi matahari melalui proses bio-sintesisnya juga tergantung pada ketersediaan unsur hara (*nutrient*). Dari produser primer energi dan material yang telah disintesa akan dimanfaatkan oleh produser sekunder (*secondary producer*) seperti zooplankton dan ikan-ikan herbivora. Energi dan material yang telah pindah dari produser primer ke produser sekunder selanjutnya akan dimanfaatkan oleh rantai berikutnya dan terus berlanjut hingga akhirnya ditangkap nelayan (lihat **Gambar 7.2**). Makin panjang atau makin banyak mata rantai yang dilalui maka makin banyak energi dan material yang terbuang. Tingkat efisiensi penyerapan energi dan material oleh suatu rantai (tingkatan trofik) dari rantai sebelumnya hanya sekitar 10% (Ackefors, dkk., 1994; Meadows and Campbell (tt)), dan bahkan untuk produser primer tingkat efisiensinya terhadap sinar matahari yang diserap hanya sekitar 2%. Oleh karena itu, kegiatan penangkapan yang target spesiesnya adalah ikan karnivora murni dan spesies tersebut berada pada beberapa tingkatan trofik dari produser primer maka, pada dasarnya, telah banyak energi dan material yang terbuang. Begitu pula dengan kegiatan budidaya, apabila komoditas yang dipelihara adalah spesies ikan karnivora murni atau tingkat tinggi maka dalam proses budidayanya baik langsung maupun tidak langsung mempunyai tingkat efisiensi yang rendah.



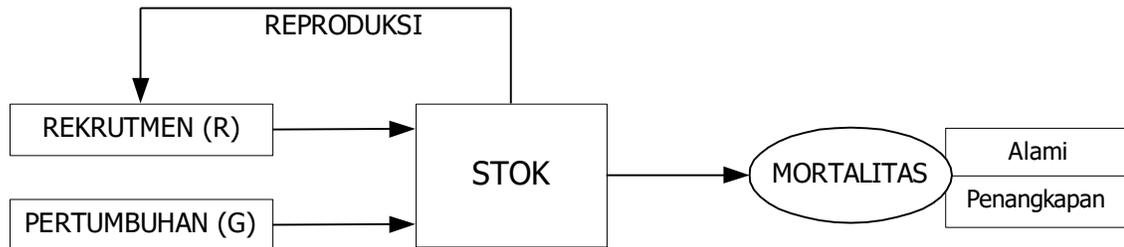
**Gambar 7.2.** Efisiensi Transfer Energi dalam Suatu Rantai Makanan

Konsep produksi kegiatan penangkapan ikan seyogyanya menempatkan aspek ekologi sebagai pertimbangan yang utama agar tercapai hasil maksimum yang lestari (*Maximum Sustainable Yield*). Individu, populasi, dan komunitas ikan mempunyai keterbatasan dalam pertumbuhannya (**Gambar 7.3** dan **7.4**) dan keberadaannya sangat ditentukan oleh proses ekologinya. Mengacu pada gambar-gambar tersebut maka upaya penangkapan tidak dapat dilakukan sembarangan karena hasil tangkapannya tidak akan pernah melebihi dari persediaan yang ada di alam. Disamping itu, akibat yang akan dirasakan oleh nelayan pada tingkat penangkapan tertentu adalah menurunnya hasil tangkapan karena berkurangnya persediaan (*stock*) ikan atau bahkan hilangnya/punahnya spesies tertentu dari ekosistem perairan. Kenyataan ini telah dirasakan oleh para nelayan di perairan Utara Jawa dan Selat Malaka, dengan indikasi yaitu makin jauhnya daerah penangkapan, makin menurunnya jumlah hasil tangkapan, ukuran ikan hasil tangkapan relatif kecil-kecil, ikan-ikan hasil tangkapan lebih banyak berupa ikan-ikan bernilai ekonomi rendah.

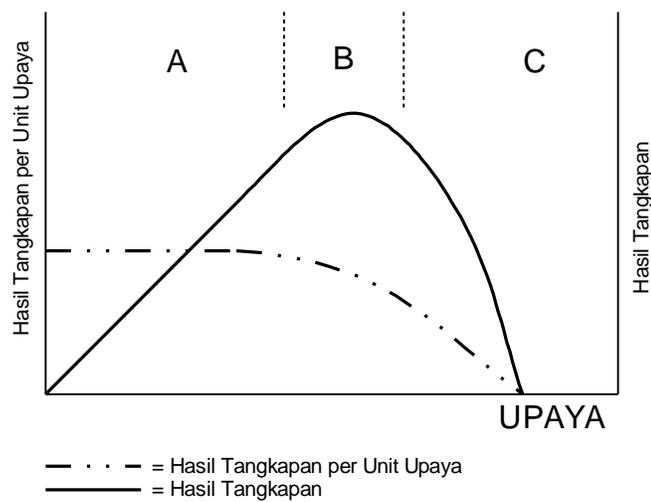
Mengacu pada **Gambar 7.5** maka sebaiknya kegiatan penangkapan dilakukan pada area yang berada dalam kolom B, yaitu pada tingkat penangkapan maksimum yang lestari. Pada Areal B, apabila upaya penangkapannya ditingkatkan lagi baik jumlah maupun kemampuannya maka terjadi penurunan hasil tangkapan total dan juga hasil tangkapan per unit upaya. Dengan demikian, secara ekonomi dan ekologi akan membrikan dampak yang merugikan.



**Gambar 7.3.** Grafik Hubungan antara Pertumbuhan Individu, Produksi, dan Biomass (Huisman, 1997)



**Gambar 7.4.** Skema Dinamika Ikan dalam Suatu Stok (Widodo & Nurhudah, 1995)



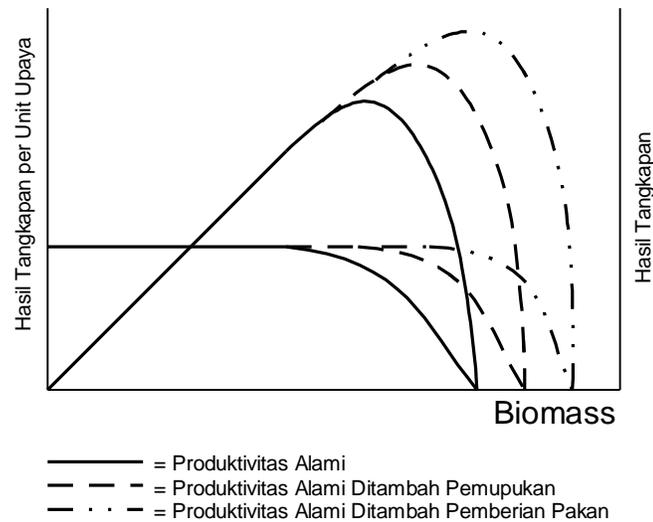
**Gambar 7.5.** Konsep Biologi Penangkapan Maksimum yang Lestari; (A) Tingkat Penangkapan yang Rendah hingga Berkembang; (B) Tingkat Penangkapan pada Tahap Pengelolaan – Manajemen; (C) Tingkat Penangkapan yang Berlebihan – *over exploitation* (Widodo & Nurhudah, 1995; Huisman, 1997)

## 7.2 Ekologi Produksi Budidaya Ikan

Lebih Lanjut, dalam perikanan budidaya kejadiannya tidak jauh berbeda dengan perikanan penangkapan, yaitu dalam proses produksinya berawal dari ketiga proses ekologi di alam (produksi, konsumsi, dan dekomposisi). Namun demikian, ditinjau dari tingkat teknologi budidayanya (sederhana/tradisional, madya/semi intensif, dan maju/intensif) maka tidak semua proses ekologi tersebut terdapat dalam wadah tempat budidaya. Kegiatan budidaya, secara garis besar dapat dibedakan menjadi 2 (dua) tipe, yaitu kegiatan budidaya yang dilakukan dalam air yang menggenang dan dengan pergantian air.

Tipe budidaya pada air menggenang, ekosistem wadah budidaya dianggap sebagai suatu ekosistem yang alami karena ketiga proses ekologi berlangsung didalamnya. Tipe ini umumnya merupakan kegiatan budidaya dengan system tradisional atau sederhana. Oleh karena itu, tingkat produksinya tergantung pada tingkat produksi alaminya. Namun demikian, dalam prakteknya seringkali dilakukan manipulasi lingkungan, misal dengan pemupukan, untuk menambah ketersediaan unsure hara sehingga meningkatkan proses ekologi yang pertama yaitu proses produksi yang selanjutnya juga akan meningkatkan pula proses konsumsinya dan akhirnya diharapkan akan meningkatkan hasil panennya.

Tipe budidaya dengan pergantian dapat dibedakan menjadi 2 (dua) sistem, yaitu system air mengalir (*flow-through system*) dan system sirkulasi tertutup (*closed-resirculation system*). Kedua system tersebut biasanya diterapkan untuk budidaya yang semi intensif dan intensif. Dalam sistem ini, dilakukan manipulasi untuk menggantikan ketiga proses ekologi yang biasa terjadi di ekosistem alam. Proses ekologi produksi tidak terlalu dibutuhkan karena proses ekologi konsumsi digantikan dengan pemberian pakan, misal berupa pellet. Proses dekomposisi juga dikurangi perannya melalui disain-konstruksi tertentu dari wadah budidaya sehingga dapat memindahkan bahan-bahan organik yang terakumulasi di dasar perairan dari dalam system budidaya dan melalui system pergantian air. Namun demikian, di sisi lain, ekosistem mempunyai tingkat daya dukung tertentu sehingga kegiatan manipulasi lingkungan dan aplikasi teknologi juga hanya ditingkatkan sampai batas tertentu (lihat **Gambar 7.6**). Disamping itu, kegiatan manipulasi dan aplikasi teknologi tinggi memerlukan perhatian dan keseriusan yang tinggi pula karena ekosistem telah ditempatkan pada batas maksimum keseimbangannya. Oleh karena itu, apabila terjadi kesalahan dalam pengelolaannya, walaupun dalam tingkat yang rendah, akan merusak system secara keseluruhan dan akhirnya menggagalkan panen.



**Gambar 7.6.** Grafik Hubungan antara Pertumbuhan Individu, Produksi, dan Biomass pada Sistem Budidaya Intensif (Huisman, 1997)

Dari gambar tersebut tampak bahwa peningkatan upaya memanipulasi lingkungan akan dibatasi oleh daya dukung ekosistemnya. Oleh karena itu, upaya peningkatan produksipun juga terbatas sampai dengan tingkat tertentu. Sebagai contoh, penambahan pupuk yang berlebihan akan menimbulkan pertumbuhan phytoplankton yang berlebihan (blooming). Kondisi demikian akan merugikan ekosistem budidaya karena akan terjadi persaingan antara phytoplankton dengan organisme yang dibudidayakan dalam hal kebutuhan oksigen terlarut pada waktu malam hari. Kenyataan tersebut sering ditemui dalam kegiatan budidaya udang intensif yang menyebabkan kematian udang. Disamping itu, phytoplankton yang mati (*die off*) akan menumpuk di dasar ekosistem wadah budidaya yang potensi untuk menimbulkan gas-gas beracun, seperti gas methan dan gas ammonia yang mematikan ikan. Demikian juga dengan pemberian pakan, yaitu bahwa pakan diberikan tidak semuanya dapat dikonsumsi oleh ikan. Para ahli bahkan mensinyalir sekitar 40 – 60% total pakan yang diberikan akan mengendap ke dasar wadah budidaya. Potensi permasalahan adalah sama dengan uraian diatas yaitu kematian organisme yang dibudidayakan baik karena adanya gas-gas beracun maupun rendahnya kandungan oksigen terlarut.

# DAFTAR PUSTAKA

- Ackefors, H., J.V. Huner, and M. Konikoff. 1994. **Introduction to The General Principles of Aquaculture**. Food Product Press, Binghamton, NY. 172pp.
- Beken, A.V., 1995. **Water Quality Management** (Lecture Notes), Centre for Environmental Sciences, University of Ghent, Belgium. 42 p.
- Beullens, K., E.H. Eding, P. Gilson, F. Olliver, J. Komen, and C.J.J. Richter, 1997. **Gonadal differentiation, intersexuality and Sex ratios of European eel (*Anguilla anguilla* L.)**. Elsevier Science Publisher, BV. Amsterdam, Aquaculture 153 (1997); p. 135 – 150
- Boyd, C.E., 1990. **Water Quality in Ponds for Aquaculture**,. Auburn, USA. 482 pp.
- Brewer, R., 1979. **Principles of Ecology**. WB. Saunders Company, Philadelphia
- Brewer. R, 1979. **Principles of Ecology**. WB. Saunders Company Philadelphia.
- Brotowidjoyo. MD, D. Tribawono dan E. Mulbyantoro, 1995. **Pengantar Lingkungan Perairan dan Budidaya Air**. Liberty, Yogyakarta.
- Clark. G.L, 1954. **Element of Ecology**. Toppon Company Ltd. Tokyo.
- Dahuri. R, J. Rais, S.P. Ginting dan M.J. Sitepu, 1996. **Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu**. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Perikanan, 1984. **Pedoman Budidaya Tambak**. Direktorat Jenderal Perikanan. Departemen Pertanian, Jakarta.
- Djajadiningrat. ST. dan H.H. Amir (penerjemah dan penyadur), 1989. **Penilaian Secara Cepat Sumber-Sumber Pencemaran Air, Tanah dan Udara**. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Food and Agriculture Organization, 1971. **Pollution. An International Problem for fisheries**. Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome.
- \_\_\_\_\_, 1976. **Bioassays and Toxicity Testing**. Lectures Presented at the Fourth FAO/SIDA Training Course on aquatic pollution in relation to protection of living resources. Food and agricultur organization of the united nations., Rome.

- Huisman, E.A., 1997. **Introduction Fish Culture and Fisheries**. Wageningen Agriculture University, Wageningen, the Netherlands. 101 pp.
- Hynes. H.B.N, 1974. **The Biology of Polluted Waters**. Liverpool University Press. Liverpool.
- Laevasty. T and Larkins, HA, 1981. **Marine Fisheries Ecosystem Its Quantitative evaluation and Manajement**. Fishing news books Ltd.
- Lin, H.R., M.L. Zhang, S.M. Zhang, G.V.D. Kraak, and R.E. Peter, 1991. **Stimulation of Pituitary gonadotropin and ovarian development by chronic administration of testosterone in female Japanese silver eel, *Anguilla japonica***. Elsevier Science Publisher, BV. Amsterdam, Aquaculture 96 (1991); p. 87 – 95
- Meadows, P.S. and J.I. Campbell. (tt). **Tertiary Level Biology - An Introduction to Marine Science**. Blackie. Glasgow and London. 128pp.
- Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, 1990. **Kualitas Lingkungan di Indonesia 1990**. Kantor Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Mc. Lusky. DS, 1981. **The Estuarine Ecosystem**. Blackie and Son Limited. Scotland.
- Moss. B, 1996. **Ecology of Fresh waters, Man and Medium**. Second Ed. Black well Science Ltd.
- Nontji. A, 1993. **Laut Nusantara**. Penerbit jambatan. Jakarta.
- Nybakken. J.W., 1992. **Marine Biology An Ecological Approach**. Ed. Terjemahan. PT. Gramedia - Jakarta.
- Odum. E.P, 1971. **Fundamentals of Ecology** (Third Edition) Saunders College Publishing. Georgia.
- Pitcher. T.J. and P.J.B. Hart, 1982. **Fisheries Ecology**. The Avi Publishing Company. Inc, Westport, Connecticut.
- Rososoedarmo. S, K. Karta Winata dan A. Soegiarto, 1993. **Pengantar Ekologi**. PT. Remaja Rosdakarya. Bandung.
- Ryadi. A.L.S., 1981. **Dasar-Dasar Ekologi**. Akademi Penilik Kesehatan. Surabaya.