Ekologi Perairan Tropis

BAB 1
PENDAHULUAN

Ketersediaan dan kecukupan sumber daya alam yang berkualitas tinggi sangat penting untuk mendukung keberlanjutan kehidupan manusia di Bumi. Optimisme tersebut sangat kontras dengan perilaku manusia dalam memanfaatkan lingkungan hidup dan sumber daya alam yang cenderung berlebihan dan merusak tanpa mempertimbangkan kelestarian sumber daya tersebut untuk keberlanjutan pemanfaatannya.

Fenomena ini menunjukkan betapa rendahnya pemahaman manusia akan saling ketergantungan dan keterkaitan yang erat antara sumber daya alam dan lingkungannya, serta hubungan antara keberadaan manusia di muka bumi dengan ketersediaan sumber daya alam dan lingkungannya sebagai landasan peradaban.

Perlindungan sumber daya alam dan lingkungan semakin terancam sebagai akibat dari pertumbuhan populasi manusia yang tinggi, ekspansi ekonomi, dan perilaku yang mengabaikan masalah ekologis. Pertumbuhan populasi manusia yang tidak terkendali akan diikuti oleh peningkatan laju pemanfaatan sumber daya alam baik kuantitas maupun kualitas, yang justru akan menurunkan ketersediaan dan kualitas lingkungannya di masa yang akan datang.

Thomas R. Malthus (1798) berhipotesis bahwa populasi manusia yang tumbuh secara geometris (deret ukur) dan sumber daya alam yang tumbuh secara aritmetika (deret hitung) akan mengakibatkan kekurangan pangan, yang pada gilirannya akan menyebabkan kerusakan dan penurunan daya dukung lingkungan, serta peningkatan konflik pemanfaatan sumber daya alam yang pada masa mendatang semakin langka ketersediaanya.

Fenomena ini semakin diperburuk dengan rendahnya pemahaman umat manusia akan kaidah-kaidah ekologi yang mewajibkan untuk menerapkan pola hidup dengan mempertimbangkan keseimbangan dan daya dukung lingkungan hidup.

Prinsip ekologi dan kehidupan manusia tidak dapat dipisahkan sejak bentuk kehidupan pertama kali muncul di planet ini. Sejak lama, dengan kemajuan sejarah dan peradaban manusia, prinsip-prinsip ekologi telah dipelajari dan diimplementasikan oleh umat manusia untuk dapat hidup menyatu dengan alam.

Prinsip ekologi menekankan saling ketergantungan antara faktor biotik dan abiotik, yang saling membutuhkan dan hubungan saling ketergantungan yang tidak dapat dipisahkan. Misalnya fitoplankton, organisme autotrof (faktor biotik) yang bergantung pada sinar matahari sebagai sumber energi, tidak dapat tumbuh dan berkembang tanpanya.

Fitoplankton juga membutuhkan zat hara (nutrien) dan karbon dioksida (CO_2) untuk melakukan proses fotosintesis. Selanjutnya fitoplankton dimanfaatkan oleh zooplankton dan zooplankton kemudian dimangsa ikan kecil yang selanjutnya melalui rantai makanan yang kompleks dengan membentuk jaring makan maka akan sampai pada manusia sebagai *top predator*. Hal ini membuktikan bahwa eksistensi manusia di muka bumi sangat ditentukan dan didukung oleh faktor abiotik dan biotik.

Dengan demikian, jika manusia memahami konsep dasar ekologi, maka selayaknya tidak akan terjadi kerusakan di muka bumi yang diakibatkan oleh aktivitas antropogenik karena manusia merupakan bagian dari komponen alam semesta yang saling ketergantungan dengan komponen lainnya (biotik dan abiotik) sehingga jika komponen alam dirusak oleh manusia maka dampak negatif juga akan dirasakan oleh manusia.

Kajian ekologi perairan tropis secara khusus membahas tentang tipologi ekosistem perairan dan interaksi faktor biotik dan abiotik di kawasan tropis yang dikenal memiliki tingkat keanekaragaman sumber daya hayati yang tinggi.

Sesuatu hal yang menarik adalah semakin pesatnya perkembangan dan kajian ekologi perairan tropis dewasa ini justru kontradiktif dengan fakta empiris yang menunjukkan degradasi lingkungan perairan yang semakin meningkat dan menipisnya potensi sumber daya hayati perairan akibat pemanfaatan dan aktivitas manusia yang tidak mempertimbangkan kelestarian sumber daya alam dan daya dukung serta mutu lingkungan perairan.

Mengacu pada pendekatan konservasi global yang menekankan pada tiga tujuan utama untuk memungkinkan pembangunan berkelanjutan, yaitu: (1) pelestarian proses ekologis dan sistem penyangga kehidupan; (2) pelestarian keragaman genetik; dan (3) keberlanjutan dalam pemanfaatan speseis maupun ekosistem. Hal ini menunjukkan betapa pentingnya memahami dasar-dasar ekologi untuk mengimplementasikan gagasan pembangunan berkelanjutan.

Selain itu, gagasan pengelolaan sumber daya alam hayati berbasis ekosistem (*ecosystem based management*) saat ini sedang berkembang dalam upaya mendukung konsep pembangunan berkelanjutan. Pengelolaan berbasis ekosistem merupakan salah bentuk pengelolaan yang betujuan untuk mendukung struktur dan fungsi ekosistem secara optimal untuk melestarikan biodiversitas dan mekanisme ekologis yang ada.

Selain itu, secara khusus pengelolaan berbasis ekosistem dikembangkan untuk mencapai sejumlah tujuan, yaitu: (i) mengutamakan kelestarian struktur, fungsi, dan proses ekologis dalam ekosistem (ii) berfungsi sebagai landasan untuk memusatkan perhatian pada ekosistem tertentu dan rangkaian kegiatan yang berdampak pada ekosistem tersebut; dan (iii) Secara eksplisit mempertimbangkan interaksi dalam sistem, mengakui pentingnya interaksi antara spesies target atau layanan ekosistem utama dan spesies non-target lainnya, dan (iv) mengaitkan tujuan ekologi, sosial, ekonomi, dan kelembagaan yang pada prinsipnya saling ketergantungan dan mempengauhi antara yang satu dengan lainnya.

Dengan demikian, untuk dapat mewujudkan pemanfaatan sumber daya hayati perairan yang berkelanjutan maka diperlukan pemahaman konsep-konsep dasar ekologi yang menjadi landasan penting pengelolaan sumber daya hayati perairan. Hal inilah yang mendasari dan mendorong penulis untuk menulis dan mempublikasikan buku *Ekologi Perairan Tropis: Prinsip Dasar Pengelolaan Sumber Daya Hayati Perairan*.

Buku ini merupakan kompilasi dari berbagai teori dan hasil riset terkait dengan ekologi perairan khususnya pada perairan tropis yang membahas berbagai karakteristik dan kompleksitas keterkaitan antara sumberdaya alam dan lingkungan akutik, dan juga mengulas berbagai persoalan dalam pemanfaatan dan pengelolaan sumber daya hayati akutik di kawasan tropis seperti di Indonesia.

Buku ini disusun secara sistematis untuk memudahkan pembaca dalam memahami isi buku secara utuh yang terdiri dari 12 (dua belas) bab dan dibagi lagi menjadi tiga kelompok bab, yaitu Bab 1–8 terkait karakteristik dan variabel ekologi, Bab 9–11 terkait karakteristik dan tipologi ekosistem perairan (tawar, payau, dan laut), dan Bab 12 terkait implementasi prinsip-prinsip ekologi dalam pengelolaan sumber daya hayati perairan untuk pemanfaatan yang berkelanjutan dengan tetap mempertimbangkan daya dukung dan mutu lingkungan perairan. Selanjutnya setiap bab dibahas sebagai berikut:

Bab 1. Pendahuluan membahas tentang alasan yang melatarbelakangi pentingnya mempelajari ekologi perairan sebagai prinsip dasar dari upaya

BAB 2

PRINSIP DASAR EKOLOGI

2.1 DEFINISI DAN RUANG LINGKUP EKOLOGI

Ahli biologi Jerman Ernest Haeckel menciptakan istilah "ekologi" untuk pertama kalinya pada tahun 1869 (Gambar 2.1). Ekologi, menurut Ernes Haeckel, adalah sains yang mengkaji bagaimana organisme berinteraksi dengan lingkungan organik dan anorganiknya (Ardhana, 2012).

Gambar 2.1
Ernest Haeckel
(1834–1919)

Kata "Oikos" dan "Logos", yang membentuk kata Yunani untuk ekologi, digunakan. "Oikos" mengacu pada rumah atau tempat tinggal serta lingkungan biotik (termasuk manusia, hewan, tumbuhan, dan mikroorganisme) serta lingkungan abiotik (termasuk salinitas, suhu, pH, oksigen terlarut, dll.) (Odum , 1983; Hedi dan Kurniati, 1996; Irwan, 2003; Suyasa et al., 2010). "Logos" mengacu pada sains.

Lebih lanjut, pengertian ekologi adalah ilmu yang mempelajari interaksi antara makhluk hidup (biotik) dan lingkungannya (abiotik) atau ilmu yang mempelajari bagaimana kondisi lingkungan memengaruhi makhluk hidup untuk memastikan bahwa tidak ada makhluk hidup yang terisolasi. Kelangsungan hidup makhluk hidup di bumi bergantung pada hubungan timbal baliknya dengan makhluk hidup lain dan lingkungannya.

Ditinjau dari perspektif lingkungan perairan maka ekologi perairan adalah ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara organisme perairan dengan lingkungannya serta hubungan antarkelompok organisme dalam lingkungan perairan. Hubungan

Odum (1971): ekologi sebagai ilmu yang mempelajari pola hubungan antara makhluk hidup dengan lingkungannya.

Nybakken (1992): ekologi adalah cabang ilmu biologi yang mempelajari berbagai interaksi yang terjadi antara berbagai jenis makhluk hidup, baik secara individu maupun sebagai bagian dari komunitas yang lebih besar.

antarkelompok organisme tidak akan berjalan dengan baik jika salah satu kelompok organisme ataupun lingkungannya mengalami tekanan akibat aktivitas antropogenik maupun naturogenik yang merusak.

Berdasarkan habitat spesies maka ekologi perairan secara umum mempelajari hubungan timbal balik dan saling memengaruhi antarsuatu organisme dengan organisme lainnya serta hubungannya dengan komponen lingkungan. Berdasarkan wilayah kajian, ekologi perairan di kawasan tropis dibagi menjadi beberapa golongan sebagai berikut:

1. Ekologi Perairan tawar, merupakan studi tentang bagaimana satu organisme berinteraksi dengan makhluk lain dan dengan semua elemen lingkungan yang ada di lingkungan air tawar, seperti sungai, danau, dan lain..
2. Ekologi perairan Estuari, mempelajari bagaimana organisme yang berbeda berinteraksi satu sama lain dan dengan berbagai faktor lingkungan yang ada di perairan payau, seperti yang ditemukan di muara sungai dan teluk yang bermuara ke sungai.
3. Ekologi perairan laut mengkaji bagaimana berbagai unsur lingkungan laut, termasuk semua hewan yang hidup di dalamnya, berinteraksi antar individu, maupun antar spesies. Perairan pasang surut, samudera, dan laut dalam adalah beberapa contoh perairan laut, bersama dengan padang lamun dan terumbu karang.

2.2 HUBUNGAN EKOLOGI DENGAN ILMU LAINNYA

Ekologi adalah bidang luas yang mempelajari bagaimana organisme dari komunitas biotik beradaptasi dan berfungsi, serta memiliki hubungan yang kuat dengan disiplin ilmu biologi lainnya seperti morfologi, anatomi, fisiologi, genetika, dan histologi.

Studi tentang struktur bentuk luar tubuh dari suatu organisme dikenal sebagai morfologi. Studi tentang struktur internal organisme disebut anatomi. Studi tentang proses biologis yang terjadi di dalam tubuh suatu organisme disebut fisiologi. Bidang genetika biologi berfokus pada sifat-sifat yang diwariskan organisme dari nenek moyang mereka. Cabang evolusi biologi mengeksplorasi bagaimana organisme berubah dan berkembang dari waktu ke waktu. Histologi, dan biologi, meneliti zat organik yang ditemukan dalam sel.

Ilmu klimatologi, geologi, dan fisika juga sangat terikat dengan ekologi dan memberikan pengetahuan tentang kondisi lingkungan. Oleh karena itu, ahli ekologi harus memiliki pemahaman tentang fisika, biologi, dan kimia untuk mengungkap hubungan antara lingkungan dan dunia kehidupan.

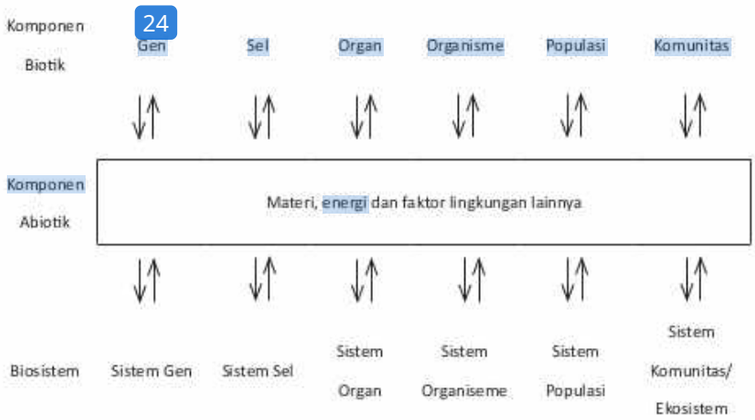
Interaksi antara semua spesies atau antara organisme dan lingkungan fisiknya dipahami sepenuhnya, yang merupakan contoh bagaimana ekologi dan ilmu-ilmu lain saling terkait. Misalnya, untuk melakukan penilaian dampak ekologis dari suatu polutan yang masuk ke perairan. Penting untuk memahami aspek preferensi makanan, pola perilaku, dan persyaratan tipe habitat selain ciri fisiologis organisme tertentu (Tahir, 2011).

Dengan memahami berbagai faktor yang terkait dengan kondisi suatu ekosistem perairan maka akan mudah menganalisis suatu permasalahan lingkungan secara mendalam, misalnya dampak pencemaran perairan yang diakibatkan oleh masuknya suatu bahan cemar yang dapat memengaruhi berbagai level organisasi dalam sistem ekologi perairan, mulai dari tingkat spesies, individu, populasi, komunitas sampai pada tingkat ekosistem secara menyeluruh.

Kenyataan ini membuktikan bahwa ilmu ekologi tidaklah terisolasi dan berdiri sendiri, melainkan sangatlah terkait berbagai cabang ilmu lain karena berbagai faktor alam biotik dan abiotik yang saling berhubungan dan saling memengaruhi.

Ekologi adalah suatu disiplin ilmu yang sistematik, analitik, dan objektif dalam kajian lingkungan, yang ditekankan pada struktur dan fungsi ekosistem. Ditinjau dari segi struktur, ekologi mengkaji keadaan lingkungan dan organisme pada waktu tertentu, yang meliputi (1) susunan dan jenis komponen ekosistem, (2) kepadatan dan biomas populasi, dan (3) faktor lingkungan (fisik dan kimia) yang menjadi penciri. Sementara ditinjau dari segi fungsinya, ekologi mengkaji hubungan fungsional dalam ekosistem (aliran energi, siklus materi, dan peran organisme).

Ekologi merupakan salah satu cabang Biologi dengan spektrum luas. Gambar 2.2, memperlihatkan bahwa Ekologi sebagian besar berfokus pada level sistem yang mengikuti atau berada di atas level organisme yang berada di sebelah kanan spektrum. Berdasarkan spektrum ini, terlihat jelas bahwa unsur-unsur pendukung ekologi, mulai dari gen hingga ekosistem, tidak memperlihatkan sekat atau pemisah antara yang satu dengan yang lainnya.



Gambar 2.2 Ilustrasi yang menjelaskan tentang Spektrum ekologi yang menghubngkan komponen biotik dan abiotik dan saling berinteraksi (diadaptasi dari Odum, 1983)

Interaksi setiap tingkatan yang berbeda dalam spektrum ekologi dengan lingkungan fisik (materi dan energi) menghasilkan sistem fungsional yang berbeda. Sistem ini memiliki suatu tujuan dan terdiri dari sejumlah bagian berbeda yang saling bergantung, berinteraksi, dan membentuk kesatuan yang utuh.

Pesatnya perkembangan dan pengkajian ilmu ekologi yang seiring dengan semakin merosotnya kualitas lingkungan hidup sehingga ilmu ekologi sering dikenal sebagai ilmu lingkungan (*environmental sciences*). Sementara berdasarkan pengertian ilmu ekologi yang dikemukakan oleh Ernest Haeckel pada tahun 1869, merupakan ilmu yang mempelajari keterkaitan dan hubungan antara organisme-organisme dengan lingkungannya.

Berdasarkan definisi tersebut maka antara ilmu ekologi dan ilmu lingkungan sama-sama mempelajari aspek lingkungan tetapi pada ilmu lingkungan aspek-aspek lingkungan dibahas sendiri-sendiri, sementara dalam ilmu ekologi aspek lingkungan dibahas sebagai suatu sistem dinamik ditambah lingkup pembahasan lingkungan yang luas. Selain itu, ilmu lingkungan dapat dipandang sebagai autekologi sedangkan ekologi mencakup autekologi dan sinekologi.

Autekologi menganalisis satu spesies organisme dan bagaimana interaksinya dengan lingkungannya. Sedangkan sinekologi mengeksplorasi kelompok makhluk hidup yang tergabung dalam satu kesatuan dan berinteraksi satu sama lain di dalam suatu areal tertentu.

2.3 LEVEL ORGANISASI DALAM SISTEM EKOLOGI

Individu organisme, populasi organisme, komunitas biotik, dan ekosistem adalah tingkatan organisasi dalam sistem ekologi, yang disusun dari

yang paling sederhana hingga yang paling kompleks. Setiap tingkatan organisasi tersebut memiliki karakteristik spesifik, struktur, dan fungsinya masing-masing dan saling berkaitan.

a. Individu Organisme

Makhluk hidup yang disebut organisme mampu melakukan seluruh aspek kehidupan dengan berinteraksi dengan organ atau organelnya untuk membangun suatu sistem. Satuan makhluk hidup ini disebut individu.

Diketahui bahwa dalam spesies yang sama, mungkin juga terdapat variasi ciri fisik dan perilaku. Individu dari suatu Organisme memiliki kapasitas untuk bereproduksi disebut sebagai spesies, yang umumnya terisolasi secara reproduktif dari individu dari spesies lainnya.

Dikarenakan organisme hidup mempunyai ciri-ciri yang peka terhadap lingkungannya, maka agar suatu organisme dapat bertahan hidup, ia harus mampu beradaptasi terhadap perubahan yang ada di lingkungannya. Hanya dengan cara ini suatu organisme dapat menjalani seleksi alam melalui evolusi, sehingga menghasilkan individu-individu yang lebih baik dan lebih mampu beradaptasi terhadap tuntutan perubahan kondisi lingkungan. Menurut Wirakusumah (2003), perubahan tersebut akan membentuk perubahan biologis dalam tubuh organisme yang berlangsung sangat lama dari waktu ke waktu melalui tekanan ekologis.

Menurut Ardhana (2012), kunci dari keanekaragaman organisme adalah adaptasi. Istilah "adaptasi" mengacu pada proses evolusi yang membantu suatu organisme untuk dapat bertahan hidup dalam kondisi lingkungan tertentu dan sifat genetik yang membantu mereka melakukannya.

b. Populasi Organisme

Populasi adalah kumpulan individu atau kelompok dari spesies yang sama yang hidup berdampingan dalam ekosistem tertentu dan memiliki kemampuan untuk berkomunikasi satu sama lain. Populasi, menurut Wirakusumah (2003), adalah pengelompokan organisme individu di suatu lokasi yang memiliki kesamaan sifat, memiliki nenek moyang yang sama, dan tidak ada yang menghalangi individu mereka untuk berinteraksi dan bereproduksi secara bebas.

Sekelompok individu dapat terisolasi secara genetik dalam keadaan tertentu, dengan perkawinan silang terbatas pada populasi kelompok itu sendiri. 'Populasi lokal' adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan pengelompokan individu suatu organisme yang terisolasi (Ardhana, 2012).

BAB 3
KONSEP ENERGI DALAM EKOLOGI

3.1 KONSEP ALIRAN ENERGI

Dalam konsep aliran energi sangat penting untuk mempertimbangkan bagaimana sistem ekologi terhubung ke sinar matahari dan bagaimana energi diubah di dalamnya. Energi matahari yang menyinari bumi dalam bentuk energi panas yang sebagian kecil akan diubah menjadi energi potensial (makanan) setelah diserap oleh tumbuhan hijau, sedangkan sisanya akan kembali menjadi energi panas. Degradasi energi akan terjadi karena proses makan dan dimakan (mekanisme rantai atau jaring makanan), sehingga tumbuhan hijau tidak dapat menggunakan seluruh energi matahari diserapnya untuk menyediakan 100% energi tersebut bagi konsumen tingkat tinggi.

Kapasitas untuk melakukan kerja disebut sebagai energi (seperti dalam energi termal, potensial, dan kimia). Hukum termodinamika I dan II, yang digunakan untuk mengkaji gagasan tentang energi, sebagaimana dijelaskan seperti di bawah ini.

Hukum Termodinamika I

Hukum ini menyatakan bahwa "*energi dapat diubah atau mengalami transformasi dari satu bentuk ke bentuk lainnya, akan tetapi tidak pernah dapat diciptakan atau dimusnahkan*". Contohnya adalah sinar matahari adalah suatu jenis energi yang mempunyai kemampuan untuk berubah menjadi energi panas atau energi potensial dalam bentuk makanan. Konsep ini, yang sering dikenal dengan hukum kekekalan energi, menyatakan bahwa meskipun energi tidak dapat dimusnahkan, namun dapat ditransfomasikan menjadi berbagai bentuk.

Hukum Termodinamika II

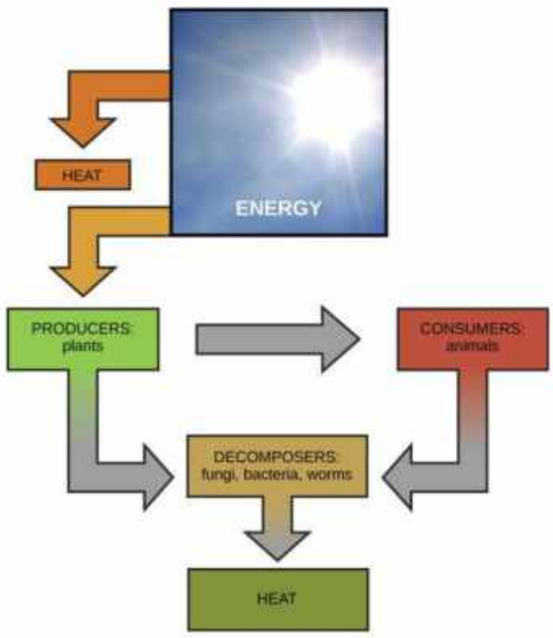
Hukum ini menyatakan bahwa "*setiap transformasi bentuk energi pasti terjadi degradasi energi yang terpusat menjadi bentuk yang terpencar, yang berarti bahwa tidak ada peristiwa atau proses yang melibatkan energi berlangsung secara*

spontan". Sebagai contoh adalah dispersi spontan panas dari benda panas ke lingkungan. Kecuali jika terjadi degradasi energi, proses peralihan energi dari suatu bentuk energi, seperti energi cahaya menjadi energi potensial tidak terjadi secara spontan dan tidak berlangsung 100% efisien.

Menurut Fisher (2018), bahwa tugas utama sel hidup untuk memperoleh, mengubah, dan menggunakan energi untuk melakukan kerja mungkin tampak sederhana. Namun, hukum kedua termodinamika menjelaskan mengapa tugas-tugas ini lebih sulit daripada yang terlihat. Semua transfer dan transformasi energi tidak pernah sepenuhnya efisien. Dalam setiap transfer energi, sejumlah energi hilang dalam bentuk yang tidak dapat digunakan. Dalam kebanyakan kasus, bentuk ini adalah energi panas.

Energi yang berasal dari cahaya matahari dimanfaatkan oleh komponen autotrof (tumbuhan) yang menggunakan klorofil. Energi ini kemudian disimpan dalam ikatan kimia zat tumbuhan organik yang merupakan sumber makanan. Selanjutnya komponen heterotrof (hewan) yang memperoleh energi dengan memakan organisme lain dalam ekosistem.

Tumbuhan memanfaatkan mekanisme fotosintesis untuk menangkap energi dari sinar matahari, dan herbivora memakan tumbuhan untuk mendapatkan energi. Karnivora memakan herbivora, dan akhirnya dekomposisi bahan tanaman dan hewan berkontribusi pada kumpulan nutrien yang nantinya akan dimanfaatkan oleh tumbuhan Setiap langkah pemanfaatan energi akan mengakibatkan degradasi energi. Selama proses fotosintesis, energi cahaya diubah menjadi energi kimia, tetapi ada juga yang kehilangan energi. Semua organisme memperoleh energi, baik secara langsung oleh tumbuhan (organisme autotrof), maupun secara tidak langsung oleh hewan (organisme heteretrof) melalui mekanisme rantai makanan yang kompleks. Adapun langkah-langkah transfer energi di alam yang bersumber dari energi matahari sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Langkah-langkah transfer energi dalam rantai makanan, yang awalnya bersumber dari energi matahari (Fisher, 2018)

Ada sejumlah penyebab penurunan energi pada setiap tingkat trofik, dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Trofik tingkat berikutnya hanya dapat menangkap dan mengonsumsi makanan dalam jumlah terbatas.
2. Makanan tertentu harus dibuang sebagai limbah karena tidak dapat dicerna.
3. Makanan yang berhasil dicerna akan digunakan sebagai sumber energi dan hanya sebagian diserap oleh organisme untuk pertumbuhan dan reproduksi.

Tantangan bagi semua organisme hidup adalah memperoleh energi dari lingkungannya dalam bentuk yang dapat digunakan untuk melakukan kerja seluler. Sel telah berevolusi untuk memenuhi tantangan ini. Energi kimia yang tersimpan dalam molekul organik seperti gula dan lemak ditransfer dan diubah melalui serangkaian reaksi kimia seluler menjadi energi dalam molekul ATP (adenosin trifosfat). Energi dalam molekul ATP mudah diakses untuk melakukan pekerjaan. Contoh jenis pekerjaan yang perlu dilakukan sel antara lain membangun molekul kompleks, mengangkut bahan, menggerakkan gerakan silia atau flagela, dan mengontraksikan otot untuk menciptakan gerakan (Fisher, 2018).

3.2 KONSEP PRODUKTIVITAS DALAM EKOLOGI

Produktivitas dalam prinsip ekologis adalah derajat di mana energi disimpan oleh suatu komunitas dalam suatu ekosistem. Dalam suatu ekosistem terdapat produsen dan konsumen, sehingga dikenal produktivitas oleh produsen (Produktivitas primer) dan produktivitas oleh konsumen (produktivitas sekunder).

Ada dua jenis produktivitas dalam konsep ekologi, yaitu sebagai berikut:

1. Produktivitas primer, atau keluaran pada tingkat produsen (organisme autotrof), mengacu pada keluaran yang dilakukan oleh tumbuhan atau organisme autotrofik lainnya, seperti pembentukan bahan organik baru pada tumbuhan.
2. Produktivitas sekunder, atau keluaran pada tingkat konsumen, yang meliputi sintesis hewan dari bahan organik baru (organisme heterotrof).

Produktivitas primer adalah tingkat di mana produsen (organisme autrotrof) memanfaatan mekanisme fotosintesis untuk mengubah zat anorganik menjadi senyawa organik yang kaya energi. Sumber makanan utama ekosistem adalah proses fotosintesis, yang dilakukan tanaman hijau dengan menyerap energi matahari.

Dua kategori produktivitas primer adalah sebagai berikut:

1. Produktivitas primer kotor adalah laju fotosintesis secara keseluruhan, dengan memperhitungkan jumlah bahan organik yang dikonsumsi untuk respirasi.
2. Produktivitas primer bersih adalah laju retensi bahan organik dalam jaringan tanaman sebagai bahan organik, yang mana sebagian di antaranya telah digunakan untuk fotosintesis atau respirasi tanaman.

Odum (1983) menggunakan satuan gr/m^2/hari berat kering bahan organik selama siklus satu tahun untuk menilai produktivitas primer kasar. Produktivitas primer secara luas dapat dibagi menjadi tiga kategori berikut:

1. Produktivitas primer rendah (relatif kurang produktif), sebagia contoh mayoritas lautan terbuka (offshore) memiliki produktivitas hanya 0,1 gr C/m2/hari.
2. Produktivitas primer sedang, contohnya pada perairan laut dangkal, danau, dan sungai dengan nilai produktivitas primer berkisar antara 1–10 gC/m2/hari.
3. Produktivtas primer tinggi (Sangat produktif), contohnya pada perairan muara (estuari), habitat mangrove, padang lamun, dan terumbu karang;

nilai produksinya berkisar antara 10–20 gr C/m2/har, dan di tempat-tempat tertentu bahkan mungkin lebih tinggi.

Produktivitas primer bersih merupakan konsep penting untuk dipahami saat mencoba memahami suatu ekosistem, karena dapat menggambarkan energi yang dapat diakses oleh semua elemen pada jaring makanan. Dibandingkan dengan ekosistem dengan produksi primer yang tinggi, lingkungan dengan produktivitas primer bersih yang rendah akan mendukung lebih sedikit organisme heterotrofik.

Oleh karena itu, tidaklah mengherankan jika suatu ekosistem terumbu karang yang sehat meskipun dengan luasan yang sempit, namum memiliki tingkat produktivitas primer yang tinggi, sehingga mampu mendukung kelimpahan dan keragaman organisme heterotrofik yang berasosiasi.

Menurut Nybakken (1992), Produktivitas primer perairan adalah jumlah bahan organik yang dihasilkan oleh organisme outotrof dari bahan anorganik dalam volume air tertentu selama periode tertentu, dan diukur dalam gram karbon per satuan luas atau satuan volume air per selang waktu (gC/m^2/hari).

Fotosintesis dan respirasi adalah salah satu kegiatan yang berkontribusi pada produksi primer. Perbedaan relatif antara proses fotosintesis yang menghasilkan karbohidrat, dan respirasi yang mengkonsumsi karbohidrat, menentukan produktivitas primer bersih.

Hanya sebagian kecil energi matahari yang dikonsumsi selama fotosintesis; sebagian besar cahaya yang dipantulkan tidak mengenai tumbuhan seluruhnya atau diubah menjadi energi panas. Diperkirakan hanya 1% sampai 5% energi cahaya yang mencapai tanaman dan berubah menjadi energi panas. Namun demikian, energi yang dikonversi ini menurut Ardhana (2012) cukup untuk mengendalikan seluruh sistem ekologis di muka bumi.

Reaksi fotosintesis adalah:

$$\underset{a}{6CO_2} + \underset{b}{6H_2O} + \underset{c}{\text{sinar matahari}} \longrightarrow \underset{d}{\text{Zat Organik } (C_6H_{12}O_6)} + \underset{e}{6O_2}$$

a. Dari udara atau produk akhir pernapasan.
b. Dari tanah.
c. Diasimilasi oleh pigmen klorofil di daun.
d. Gula sebagai hasil akhir dari proses fotosintesis
e. Dihembuskan atau dimanfaatkan selama proses respirasi

Dalam proses fotosintesis tersebut terlihat tiga komponen utama, yaitu sebagai berikut:

BAB 4

SIKLUS BIOGEOKIMIA DALAM SISTEM EKOLOGI

4.1 KONSEP DASAR SIKLUS BIOGEOKIMIA

Siklus nutrien anorganik melalui organisme, atmosfer, lautan, tanah, dan batuan. Dikenal dengan siklus Biogeokimia karena siklus kimia nutrien melalui sistem biologis dan geologis, yang sangat penting bagi keberlanjutan fungsi dan proses dalam ekosistem.

Tanpa siklus biogeokimia, kehidupan di bumi akan lenyap. Siklus biogeokimia adalah proses penting dalam sistem ekologi, karena berfungsi sebagai sumber bahan berbeda yang dapat dimanfaatkan oleh makhluk hidup secara berulang dan berkelanjutan.

Siklus biogeokimia merupakan interaksi atau perubahan yang berkelanjutan antara unsur-unsur di biosfer yang hidup dan yang tidak hidup. Ion atau molekul nutrien dipindahkan dari lingkungan ke organisme dan kembali lagi dalam siklus biogeokimia. Bahan organik didaur ulang dan bukannya hilang di setiap tingkat trofik dalam suatu ekosistem.

Siklus biogeokimia merupakan siklus material yang mengisi kembali seluruh unsur kimia yang telah dikonsumsi oleh segala sesuatu di bumi, termasuk unsur biotik dan abiotik, untuk menjamin kelangsungan kehidupan di bumi. Sebagaimana menurut Odum (1983) bahwa Siklus biogeokimia adalah aliran materi yang konstan antara komponen biotik dan abiotik.

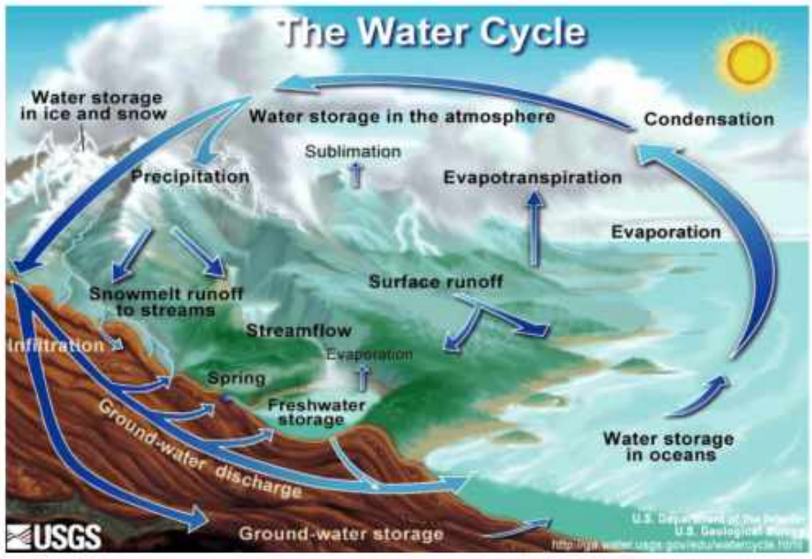
Siklus biogeokimia dapat dibagi menjadi dua golongan berdasarkan sumber yang terdapat di alam, yaitu:

1. Golongan gas, misalnya siklus nitrogen, yang sumbernya dari atmosfer dan lautan (hidrosfer).
2. Golongan sedimen yang sumbernya dari batuan bumi, seperti fosfor.

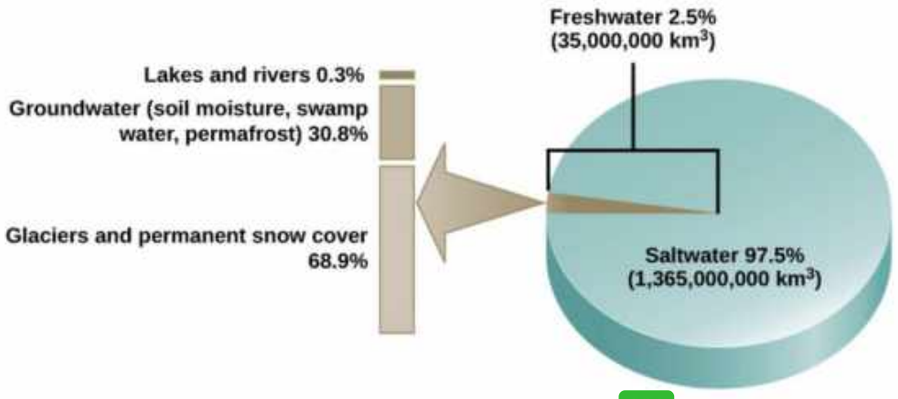
Dikarenakan sebagian besar material berasal dari sumber yang relatif tidak aktif dan tidak bergerak di kerak bumi, maka siklus sedimen termasuk unsur-unsur seperti fosfor cenderung tidak sempurna. Sedangkan siklus gas terlihat lebih sempurna karena adanya kontrol umpan balik negatif alam.

4.2 SIKLUS HIDROLOGI

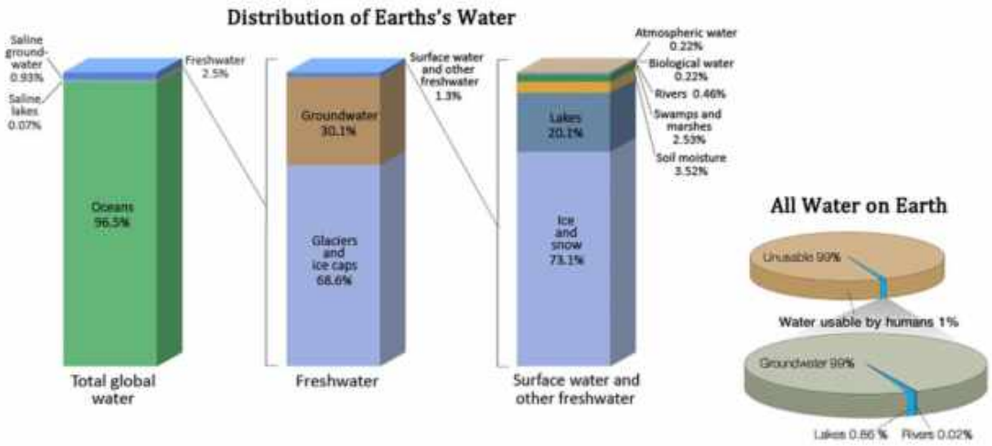
Siklus hidrologi menggambarkan siklus yang terjadi pada air di biosfer. Air, juga dikenal sebagai hidrogen oksida (H_2O), pada dasarnya adalah bahan kimia yang terdiri dari hidrogen (H) dan oksigen (O), umumnya berada di alam sebagai air, es, salju, atau uap air. Kumpulan massa air di alam sebagai badan air dikenal dengan lautan, rawa genangan, danau, dan sungai. Disebut sebagai air tanah jika berada di bawah tanah dan disebut sebagai uap air jika berada di udara. Berbagai bentuk air ini mengalir melalui siklus hidrologi secara dinamis (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Siklus Hidrologi (Air). Tanda panah menggambarkan pergerakan air ke reservoir berbeda yang terletak di atas, dan di bawah Permukaan bumi (Survei Geologi USA *dalam* Fisher, 2018)



Gambar 4.2 Hanya 2,5% air di Bumi merupakan air tawar, dan kurang dari 1% air tawar yang mudah diakses oleh makhluk hidup (Fisher, 2018)



Gambar 4.3 Reservoir Air Bumi. Diagram batang memperlihatkan distribusi air di Bumi termasuk total air global, meliputi air tawar, dan air permukaan serta air tawar lainnya. Juga diagram pai yang memperlihatkan air yang dapat digunakan langsung oleh manusia berupa air tawar, dan sumber air yang tidak dapat langsung digunakan berupa air laut (Fisher, 2018)

Banyak proses berbeda yang menyebabkan air hujan turun ke permukaan bumi; sebagian besar kemudian terhenti sejenak (di atas tanah) sebelum kembali ke atmosfer melalui transpirasi dan penguapan tumbuhan. Beberapa dari mereka berhasil turun dan akhirnya sampai di sungai yang dikenal sebagai run-off. Beberapa dari mereka menembus bumi dan berubah menjadi air tanah. Melalui transpirasi dan evaporasi tanaman, sebagian air tanah dan air mengalir akan didaur ulang ke atmosfer (Gambar 4.1).

Gambar 4.1 memperlihatkan bahwa pergerakan air yang konstan melalui kondensasi, presipitasi, penguapan, dan transpirasi dari atmosfer ke bumi dikenal sebagai siklus air, atau siklus hidrologi. Beberapa curah hujan dapat

menguap dalam perjalanannya ke tanah atau mungkin langsung jatuh dan diserap oleh tanaman sebelum menyentuh tanah. Hingga siklus hidrologi mencapai bumi, siklus tersebut tidak akan pernah berhenti.

Di planet Bumi, 97,5% adalah air asin/laut (Gambar 4.2). Dari air yang tersisa, lebih dari 99% adalah air tanah atau es. Jadi, < 1% air tawar terdapat di danau dan sungai. Banyak organisme bergantung pada presentase kecil ini, kekurangan yang dapat memiliki efek negatif pada ekosistem. Secara alami, manusia telah menciptakan metode untuk meningkatkan ketersediaan air untuk memenuhi kebutuhannya. Contohnya desalinasi air laut, penyimpanan air hujan, dan pengeboran sumur untuk mengambil air tanah. Meskipun demikian, ketersediaan air bersih masih menjadi masalah serius di zaman modern ini sehingga selalu menjadi isu penting (Fisher 2018).

Satu-satunya materi umum yang ada secara alami di Bumi dalam ketiga wujud—padat, cair, dan gas—adalah air. Itu didistribusikan di berbagai lokasi, yang disebut reservoir air. Lautan sejauh ini merupakan reservoir terbesar dengan sekitar 97% dari semua air tetapi air itu terlalu asin untuk sebagian besar penggunaan bagi manusia (Gambar 4.2). Tudung es dan gletser adalah reservoir air tawar terbesar tetapi air ini berlokasi tidak nyaman, kebanyakan di Antartika dan Greenland. Air tanah dangkal adalah reservoir terbesar air tawar yang dapat digunakan. Meskipun sungai dan danau adalah sumber daya air yang paling banyak digunakan, mereka hanya mewakili sebagian kecil dari air dunia (Fisher 2018).

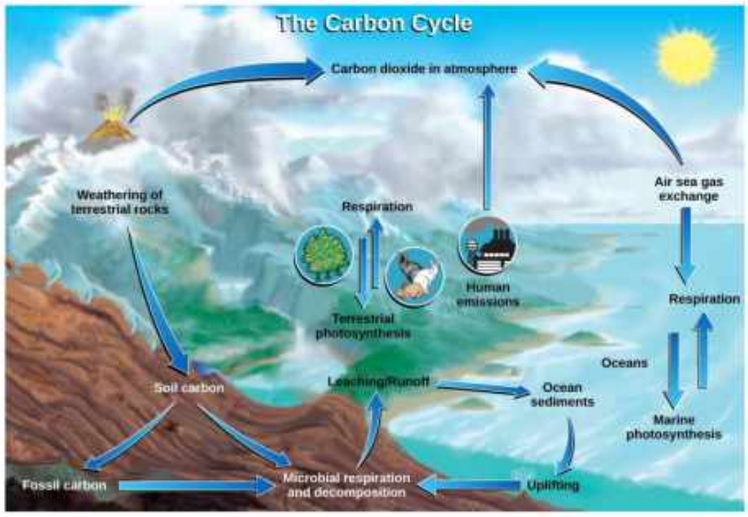
4.3 SIKLUS KARBON DAN OKSIGEN

Komponen mendasar yang digunakan organisme autotrofik untuk menciptakan molekul berenergi tinggi seperti glukosa adalah karbon dioksida (CO_2). Organisme ini menggunakan energi matahari untuk menciptakan ikatan kovalen, yang mengikat atom karbon satu sama lain. Energi disimpan dalam ikatan kimia ini dan kemudian digunakan dalam proses respirasi. Jika organisme autotrof di perairan laut memperoleh karbon dioksida dalam bentuk terlarut (bikarbonat, HCO3–), maka sebagian besar organisme autotrof di darat memperoleh karbon dioksida langsung dari atmosfer.

Karbon adalah salah satu elemen dalam ekosistem yang mengalami siklus. Diawali dari Karbon yang ada di atmosfer yang dimanfaatkan oleh tumbuhan (organisme autotrof) sebagai produsen, selanjutnya dimanfaatkan oleh konsumen (organisme heterotrof), dan selanjutnya ke organisme pengurai, kemudian dilepaskan kembali ke atmosfer (Gambar 4.2).

Sebagai komponen penting di atmosfer, karbon dioksida dapat berdampak pada radiasi panas bumi dan berkontribusi pada pembentukan stok karbon organik. Pada tumbuhan hijau, proses yang dikenal sebagai fotosintesis mengubah karbon dioksida yang merupakan bentuk karbon anorganik menjadi karbohidrat yang merupakan bentuk karbon organik.

Ada gas di atmosfer yang disebut karbon dioksida, yang larut dalam air. Gas karbon dioksida diubah menjadi karbon organik melalui fotosintesis, dan karbon organik kemudian diubah kembali menjadi gas karbon dioksida melalui respirasi. Ketika bahan organik dari makhluk hidup menjadi fosil dan terkubur jauh di bawah sedimen, maka bahan tersebut dapat disimpan dalam waktu yang lama. Karbon yang tersimpan ini dilepaskan kembali ke atmosfer melalui berbagai aktivitas antropogenik dan aktivitas vulkanik dari gunung berapi (Fisher, 2018).



Gambar 4.4 Siklus Karbon di Atmosfer dan Hidrofer (Fisher, 2018)

Di lingkungan perairan, pertukaran CO_2 atmosfer tidak langsung terjadi. Alga menggunakan karbon dioksida dan air untuk membuat asam karbonat, yang kemudian terurai menjadi ion bikarbonat dan menyediakan makanan bagi organisme heterotrof. Di sisi lain, bikarbonat dibuat ketika CO_2 dikeluarkan selama respirasi organisme akuatik. Aktivitas tektonik menyebabkan karbon terlarut naik ke permukaan di mana ia menciptakan sedimen, cangkang, serta tulang organisme laut.

Karbon dioksida (CO_2) diambil dari atmosfer dengan berbagai cara, di antaranya adalah sebagai berikut:

1. Karbon dioksida (CO_2) diubah menjadi karbohidrat dan oksigen dilepaskan ke atmosfer selama proses fotosintesis.

BAB 5

FAKTOR PEMBATAS DALAM SISTEM EKOLOGI

5.1 HUKUM MINIMUM LIEBIG

Organisme harus mampu memenuhi unsur-unsur esensial yang diperlukan untuk menjamin eksistensi, pertumbuhan, dan reproduksi agar dapat hidup dalam keadaan tertentu. Dengan demikian keberadaan unsur-unsur esensial ini sangat penting untuk menunjang kehidupan organisme di alam liar. Jenis kebutuhan dasar ini bervariasi tergantung jenis spesies dan keadaan bagaimana serta di mana organisme tersebut berada, misalkan manusia untuk dapat hidup membutuhkan oksigen, makanan, air, dan sebagainya. Jika kebutuhan dasar tersebut tidak tersedia maka manusia tidak bisa hidup dalam waktu yang lama.

Dalam lingkungan alami yang seimbang dan normal, unsur-unsur yang diperlukan selalu ada dalam jumlah yang memadai. Kenyataan dalam kehidupan sehari-hari adalah tidak semua kebutuhan tersebut terpenuhi secara memadai, artinya jika suatu zat atau unsur penting langka maka kuantitasnya dapat menjadi faktor pembatas kemampuan organisme untuk bertahan hidup.

"Hukum Minimum Liebig" awalnya diusulkan oleh Justus Van Liebig pada tahun 1840. Di mana menurut Hukum Liebig, "suatu organisme tidak lebih kuat dari mata rantai terlemah dalam rantai kebutuhan ekologisnya" (Odum, 1983).

Liebig, seorang ahli botani, meneliti beberapa faktor yang memengaruhi pertumbuhan tanaman. Menurutnya, hasil pertanian seringkali dipengaruhi oleh unsur atau senyawa lain, seperti boron, yang dibutuhkan dalam jumlah kecil dan keberadaannya di alam sangat terbatas, selain nutrien yang dibutuhkan dalam jumlah banyak, seperti karbondioksida dan air yang melimpah di lingkungan. Oleh karena itu, Hukum Liebig menunjukkan bahwa Zat atau senyawa yang berada dalam keadaan minimum sangat memengaruhi pertumbuhan tanaman.

Taylor menyempurnakan pernyataan Liebig pada tahun 1934 dengan memasukkan dua faktor tambahan, yaitu; suhu dan waktu. Implementasi Hukum Liebig hanya dapat diwujudkan ketika sistem ekologis stabil, yaitu ketika

aliran energi dan materi ke dalam ekosistem sama dengan aliran materi keluar darinya. Misalnya, di perairan danau, organisme tanaman air memiliki akses ke elemen esensial (faktor pembatas) yang cukup seperti cahaya, nitrogen, dan air dengan kadar CO_2 terlarut. Produktivitas tumbuhan air ini sebanding dengan kadar CO_2 tersedia yang dihasilkan dari proses dekomposisi bahan organik.

Kadar CO_2 akan berubah begitu juga dengan adanya unsur lain jika pernah ada tekanan dari aktivitas alam (naturogenik) atau aktivitas manusia (antropogenik) yang menyebabkan ketidakstabilan ekologis, sehingga dalam situasi ini tingkat produktivitas tidak hanya bergantung pada kadar CO_2 tetapi juga disebabkan oleh unsur lain yang mengalami perubahan keseimbangan.

Studi kasus, pada keadaan terjadinya eutrofikasi menyebabkan keadaan yang tidak stabil akibat perkembangan populasi organisme tertentu, misalnya *blooming* alga maka akan menyebabkan oksigen terlarut pada malam hari sangat terbatas akibat persaingan pemanfaatan oleh alga dan fauna lainnya sehingga menyebabkan penurunan oksigen terlarut. Dengan demikian, yang menjadi faktor pembatas adalah oksigen terlarut.

Faktor interaksi adalah aspek lain yang terkait dengan Hukum Liebig. Tingkat penggunaan bahan kimia lain juga dapat dipengaruhi oleh konsentrasi atau aksesibilitas unsur tertentu. Ketika unsur atau senyawa fundamental yang diperlukan tidak tersedia, organisme tertentu dapat mengganti unsur atau senyawa lain dengan unsur atau senyawa yang hampir identik dalam struktur kimianya. Misalnya, moluska (kerang-kerangan) membutuhkan kalsium (Ca) untuk pengembangan cangkangnya, namun apabila unsur ini langka, tetapi strontium (Sr) tersedia secara luas. Maka moluska (kerang) dapat menggantikan kalsium dengan strontium di beberapa cangkangnya, yang memungkinkan mereka memenuhi kebutuhan kalsiumnya. Dalam ilustrasi ini, unsur kalsium dan strontium memiliki kesamaan dalam sifat unsurnya, terutama karena keduanya ditemukan dalam golongan IIA pada Tabel Periodik saat ini, yang memungkinkan kelimpahan unsur strontium menggantikan kelangkaan kalsium. Contoh lain adalah fakta bahwa beberapa spesies tanaman hanya membutuhkan sedikit seng (Zn), dan jika tidak cukup, kebutuhan mereka dapat dipenuhi oleh kecukupan sinar matahari.

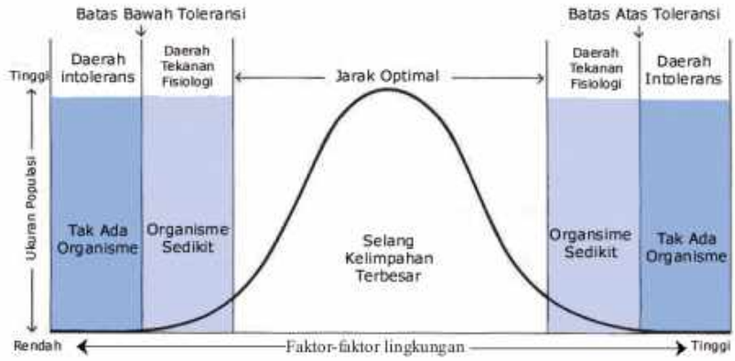
5.2 HUKUM TOLERANSI SHELFORD

Kemampuan suatu organisme untuk bertahan hidup bergantung pada pemenuhan kebutuhan mendasar untuk mendukung kehidupannya, termasuk yang ditimbulkan oleh berbagai komponen lingkungan kompleks tempatnya berada. Kekurangan atau kelebihan kualitas atau kuantitas dari satu atau

lebih komponen yang mungkin mendekati batas toleransi organisme dapat mengontrol keberadaan atau kegagalan suatu organisme untuk menpertahankan eksistensinya di alam liar.

Pernyataan ini berbeda dengan Hukum Minimum Liebig, di mana jumlah komponen yang terlalu sedikit dapat merupakan faktor pembatas bagi kehidupan tetapi dalam keadaan yang terlalu banyak maka faktor tersebut juga dapat bersifat membatasi, misalnya faktor panas, sinar matahari, air, dan lain sebagainya.

Ketika suatu faktor atau sekumpulan faktor berada dalam batas maksimum, minimum, dan optimal, memastikan bahwa setiap organisme mengalami kondisi ekologi maksimum dan minimum—kisaran yang terletak di antara dua titik, yang dikenal sebagai "batas toleransi"—maka faktor tersebut dianggap signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa faktor atau faktor yang dimaksud sangat menentukan kehidupan dan perkembangan suatu organisme pada suatu waktu tertentu (Gambar 5.1).



Gambar 5.1 Perbandingan batas toleransi organisme terhadap faktor lingkungan

Gambar 5.1 memperlihatkan bahwa kurva batas toleransi (jarak daya tahan suatu organisme), di mana setiap organisme memiliki batas toleransi yang berbeda-beda terhadap faktor lingkungan dan terdapat jarak optimal yang mendukung suatu organisme untuk hidup dan berkembang dengan lebih baik sehingga dapat mempertahankan populasinya di alam.

Odum (1983) mengemukakan bahwa konsep pengaruh membatasi dari keadaan maksimum ke minimum atau sebaliknya telah diperkenalkan melalui "Hukum Toleransi Shelford" oleh V. E. Shelford (1913). Beberapa asas yang terkait Hukum Toleransi Shelford, di antaranya adalah sebagai berikut:

1. Organisme mungkin memiliki toleransi yang luas terhadap satu unsur tetapi toleransi yang sempit terhadap unsur lainnya.

2. Penyebaran populasi dari yang paling luas akan terdapat pada organisme yang memiliki rentang toleransi yang luas terhadap berbagai parameter lingkungan
3. Kondisi yang tidak menguntungkan dapat memengaruhi toleransi suatu faktor terhadap faktor lain. Misalnya, ketika kadar unsur N_2 rendah, tanaman akan lebih rentan terhadap kekeringan dan membutuhkan lebih banyak air untuk dapat bertahan hidup
4. Sering ditemukan bahwa banyak organisme di alam berada di lingkungan yang kurang optimal dan biasanya dipengaruhi oleh sejumlah parameter lingkungan secara bersamaan.
5. Secara umum, organisme pada fase reproduksi, larva, dan fase yuwana memiliki toleransi yang terbatas terhadap kondisi fisik. Misalnya, kepiting biru dewasa dapat bertahan hidup dan berkembang secara normal di air payau atau air tawar dengan konsentrasi klorin tinggi, tetapi kondisi seperti ini tidak berlaku untuk fase larvanya.

Beberapa istilah sering digunakan untuk mendeskripsikan batas toleransi suatu organisme. Seperti penggunaan awalan "steno" yang artinya sempit, dan "eury" yang artinya lebar/luas,

1. Istilah yang digunakan untuk menggambarkan suhu atau batas toleransi suhu adalah stenothermal-eurythermal.
2. Istilah "stenohydric-Euryhydric" menggambarkan batasan toleransi air.
3. Istilah "stenohaline-Euryhaline" mengacu pada batasan toleransi garam/salinitas.
4. Batas toleransi makanan disebut sebagai stenophagus-euryphagus.
5. "Stenocious-eurycious" mengacu pada batas toleransi terhadap seleksi habitat.

Sebagai contoh adalah ikan sardin/lemuru (*Sardinella longiceps*) di laut lepas yang hidup dengan kadar garam tinggi, dibandingkan dengan ikan belanak (*Mugil cephalus*) di muara sungai, dan ikan tawes (*Puntius javanicus*) di perairan tawar. Dalam hal ini, ikan lemuru yang hidup di perairan berkadar garam tinggi dinyatakan sebagai *stenohaline* (*polyhaline*), ikan belanak (*Mugil cephalus*) di perairan muara berkadar garam antara tinggi dan rendah dinyatakan sebagai *euryhaline*, sedangkan ikan tawes yang hidup di perairan berkadar garam rendah dinyatakan sebagai *stenohaline* (*oligohaline*).

Meskipun beberapa spesies ikan di perairan laut bersifat euryhaline dan mayoritas *stenohaline*, setiap spesies ikan memiliki kemampuan yang unik untuk menyesuaikan diri dengan salinitas air laut (Laevastu dan Hayes, 1982). Sementara itu untuk suhu perairan, kisaran suhu ideal untuk kehidupan ikan di

laut tropis adalah antara 28 dan 32°C, sebagaimana menurut Kordi dan Tancung (2007). Selain berdampak pada kadar oksigen terlarut dan konsumsi oksigen oleh ikan, suhu air juga berdampak pada aktivitas metabolisme pada ikan.

5.3 KONSEP FAKTOR PEMBATAS

Kondisi ekosistem atau lingkungan ekologis saat ini sangat berpengaruh terhadap keberadaan atau keberhasilan suatu organisme. Variabel lingkungan sering disebut sebagai faktor pembatas ketika mereka melampaui kisaran toleransi. Dengan demikian, gagasan umum yang terkait dengan "faktor pembatas" akan muncul dari penyatuan antata Hukum Minimum Liebig dan Hukum Toleransi Shelford.

Mengenai gagasan "faktor pembatas", yang menggabungkan Hukum Minimum Liebig dan Hukum Toleransi Shelford, dapat dikatakan bahwa tiga hal mengatur perilaku organisme di alam: (a) keadaan minimum unsur-unsur esensial di alam, (b) faktor fisik kritis, dan (c) batas toleransi organisme.

Suatu faktor bukan merupakan faktor pembatas jika memiliki batas yang luas bagi suatu organisme dan relatif konstan dan melimpah. Sebaliknya, komponen variabel dapat menjadi faktor pembatas jika suatu organisme hanya dapat mentolerirnya dalam batasan yang sempit.

Semua faktor fisik yang terjadi secara alami sangat penting sebagai faktor "pengatur" dalam arti menguntungkan sehingga kondisi selalu homeostatis, selain menjadi faktor pembatas dalam arti merugikan. Di alam, organisme menggunakan periodisitas alami untuk mengatur aktivitasnya dan merencanakan keberadaannya dalam skala ruang dan waktu, selain beradaptasi dengan lingkungan fisik dalam arti toleransi.

Kondisi ini akan merangsang organisme untuk melakukan aktivitas biologi sesuai periode panjang hari (*photo periode*) yang diikuti dengan jam biologi (*biological clock*), misalnya aktivitas organisme perairan yang bersifat *diurnal* (aktif siang hari), *crepuscular* (aktif pada sore hari), dan *nokturnal* (aktif pada malam hari).

Suhu air berdampak pada proses metabolisme organisme, yang membatasi penyebaran spesies di perairan tawar payau, maupun perairan laut. Kelarutan oksigen terlarut, yang berkorelasi terbalik dengan konsentrasi jenuh oksigen terlarut tetapi berkorelasi langsung dengan laju konsumsi oksigen oleh organisme akuatik, merupakan salah satu cara suhu air dapat secara langsung memengaruhi kehidupan organisme akuatik.

Iluastrasi yang ditampilkan pada Gambar 5.2, memperlihatkan bagaimana respon ikan terhadap parameter lingkungan (misalnya: suhu, salinitas, dll).

BAB 6

SPESIES, INDIVIDU, DAN POPULASI DALAM SISTEM EKOLOGI

6.1 KONSEP HABITAT DAN RELUNG EKOLOGI (*NICHE*)

Spesies dalam suatu ekosistem menjadi penting dipelajari, mengingat keberadaan spesies dalam suatu ekosistem sangat dipengaruhi oleh perkembangan ekosistem dan parameter fisika, kimia, dan biologi lingkungan serta interaksi spesies tersebut dengan spesies lainnya.

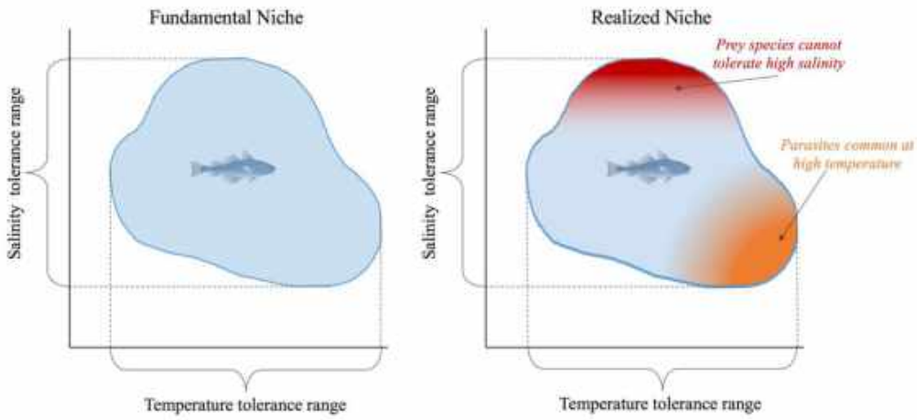
Faktor mendasar dalam menentukan distribusi spasial spesies dalam suatu ekosistem adalah pengetahuan tentang habitatnya. Istilah "habitat" mengacu pada tempat atau jenis tempat tertentu di mana organisme dapat ditemukan dan yang menawarkan kondisi untuk kelangsungan hidup organisme individu dan populasinya, seperti perlindungan dari pemangsaan dan kondisi lingkungan yang ekstrem, serta tempat untuk pemijahan, mencari makan, dan pembesaran.

Ungkapan "relung ekologis" mengacu pada faktor yang lebih luas dari sekadar ruang fisik yang ditempati organisme (misalnya, posisi trofiknya) dan posisinya dalam gradien suhu, salinitas, pH, dan faktor fisik dan kimia lingkungan lainnya (Odum, 1983).

Relung ekologi spesies adalah kondisi abiotik dan biotik yang dibutuhkan spesies untuk tumbuh, bereproduksi, dan bertahan hidup. Oleh karena itu, setiap spesies memiliki relung mendasar, yang merupakan kondisi abiotik yang dapat ditoleransi oleh spesies secara fisiologis, serta relung yang disadari, yang didorong oleh interaksi spesies dalam suatu habitat. Sebagai contohnya dapat dilihat pada Sub Bab. Konsep faktor pembatas terkait toleransi ikan terhadap lingkungan (faktor abiotik) perairan yang diilustrasikan pada Gambar 5.2 (Bab 5).

Kisaran toleransi untuk semua kondisi abiotik yang relevan mewakili relung dasar spesies. Interaksi spesies seperti predasi, parasitisme, mutualisme, dll dapat menyebabkan spesies organisme tidak ditemukan di seluruh relung

fundamentalnya. Misalnya, jika spesies mangsa ikan ini tidak terdapat di beberapa area fundamentalnya, maka spesies ikan ini mungkin tidak terdapat di sana meskipun secara fisiologis dapat mentolerir kondisi tersebut. Lebih jelasnya dapat diilustrasikan pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1 Hubungan antara relung fundamental (berdasarkan batas toleransi abiotik dan relung yang terwujud (berdasarkan interaksi spesies) (Laci M. Gerhart-Barley *dalam* https://bio.libretexts.org/Courses/University_of_California_Davis)

Gambar 6.1 dapat memberikan penjelasan bahwa relung ekologi suatu spesies sangatlah terkait dengan berbagai faktor fisik, kimia dan biologis lingkungan yang saling berinteraksi, sehingga tidak semua spesies dapat ditemukan tersebar pada pada suatu habitat, walaupun dapat mentolerir beberapa parameter fisik, dan kimiawi, namun belum tentu dapar mentolerir parameter biologis, begitu pula sebaliknya.

Suhu, pH, sedimen, salinitas, oksigen terlarut, dan faktor abiotik lainnya beserta faktor biotik bersatu untuk membentuk suatu jenis habitat di mana kedua faktor ini (biotik dan abiotik) terhubung satu sama lain untuk memenuhi semua persyaratan bagi organisme untuk hidup, tumbuh, bereproduksi dan berkembang. Menurut Tahir (2011), pada ahli ekologi menggunakan istilah "niche" untuk merujuk pada habitat yang memenuhi semua kebutuhan makanan, kebutuhan reproduksi, dan kebutuhan lingkungan fisik-kimia lainnya yang penting bagi keberadaan suatu organisme.

1. Relung habitat (*Habitat niche*).
2. Relung jaringm makanan (*trofik niche*)
3. Relung multidimensional (*multidimensional niche*)

Pengetahuan mengenai aktivitas makan organisme, suplai energi, metabolisme, laju pertumbuhan, dampak pada organisme terdekat, dan kapasitas untuk mengubah lingkungan hidupnya, semuanya penting untuk

dapat menentukan habitat asli dari suatu organisme. Dalam tahapan kehidupan yang berbeda pada spesies yang sama, persaingan akan berkurang jika memiliki niche yang relatif berbeda. Misalnya, ikan kerapu (Epinephelus spp.) fase yuwana akan memakan biota bentik (bentivora), sedangkan pada fase dewasa bersifat karnivora/piscivora dengan mengkonsumsi ikan dan biota bentik. Ini menunjukkan bagaimana perilaku makan yang bervariasi berdampak pada berbagai niche yang berbeda.

6.2 PENGGANTIAN SIFAT DAN PEMBENTUKAN SPESIES

Spesies adalah sistem genetik tertutup atau kelompok biologis alami yang berbagi kumpulan gen (gene pool). Jika mekanisme isolasi mencegah aliran gen dalam kumpulan gen, spesiasi atau pembentukan spesies baru, dan perkembangan spesies dapat terjadi. Spesies "Allopatrik" terjadi di wilayah geografis yang berbeda atau dipisahkan satu sama lain oleh penghalang, sedangkan spesies "Simpatrik" ditemukan di wilayah yang sama tetapi menempati relung ekologis yang berbeda.

Habitat dari dua spesies yang berkerabat dekat umumnya tumpang tindih. Populasi dari spesies A dan B sangat mirip dan bahkan mungkin sulit dibedakan di area habitat yang tidak tumpang tindih. Sementara jika populasi spesies A dan B hidup berdampingan di lingkungan yang tumpang tindih, maka populasi A dan B lebih divergen dan dapat dibedakan satu sama lain karena perbedaan morfologi, perilaku, atau fisiologi. Sebagai contoh variasi morfologi ikan, seperti bentuk mulut, rahang, dan giginya, sangat terkait dengan strategi yang digunakan untuk mengurangi tumpang tindih relung makanan.

Dalam populasi simpatrik dari spesies yang berkerabat dekat, perbedaan seringkali lebih nyata (divergen) dan berkurang perbedaannya (konvergen) dalam populasi Allopatrik. Pergeseran karakter/sifat dikenal sebagai "character displacement".

Isolasi geografis dapat mengakibatkan populasi turunan dari nenek moyang yang sama sehingga memunculkan spesies baru "Allopatric" (allopatric speciation). Namun, jika spesiasi terjadi di wilayah yang sama karena hambatan ekologis atau penyebab genetik, hal itu dapat mengakibatkan terciptanya spesies "simpatrik" baru (sympatric speciation) (Odum, 1983).

Charles Darwin dan Alfred Russel Wallace sebagai ilmuwan yang terkenal dengan teori Evolusi, menggunakan istilah "spesiasi" untuk menjelaskan proses perubahan spesies asli menjadi satu atau lebih spesies baru yang berbeda. Menurut teori evolusi dihipotesiskan bahwa, setiap anggota populasi memiliki

sifat unik yang diturunkan secara genetik dari satu generasi ke generasi berikutnya.

Kumpulan gen (Gene pool) dari suatu populasi spesies sering berubah dari waktu ke waktu karena lingkungan tempat spesies hidup mengalami perubahan. Modifikasi ini mungkin bersifat biologis (disebabkan oleh modifikasi ketersediaan sumber makanan, spesies saingan, dan predator) atau faktor fisik lingkungan (disebabkan oleh modifikasi suhu, air, dan elemen fisik lainnya). Suatu spesies baru telah terbentuk, menurut Indrawan (2007), ketika suatu populasi mengalami perubahan genetik yang signifikan sehingga tidak dapat dikawinkan dengan spesies asli yang mewarisi genetika tersebut.

Spesies baru biasanya terjadi karena adanya penghalang geografis. Penghalang tersebut mencegah pergerakan individu-individu di antara berbagai populasi-populasi. Asal muasal spesies baru biasanya prosesnya berlangsung lama yang memerlukan ratusan bahkan ribuan generasi tetapi di lain pihak akibat berbagai aktivitas antropogenik banyak spesies yang terbentuk oleh proses-proses almiah yang lambat tersebut (Indrawan, 2007).

6.3 KARAKTERISTIK POPULASI

Populasi adalah setiap unit kecil dalam suatu komunitas biotik. Karena populasi memiliki kualitas atau karakteristik berbeda yang menjadi milik populasi secara keseluruhan daripada organisme individu, populasi memiliki tingkat organisasi yang lebih tinggi daripada individu (Irwan, 1992). Populasi adalah kumpulan kolektif hewan atau organisme yang serupa, hidup di daerah tertentu, memanfaatkan sumber daya yang sama, dan dipengaruhi oleh faktor lingkungan.

Sebuah populasi memiliki karakteristik yang berbeda dari populasi lainnya. Odum (1983) menyebutkan karakteristik populasi meliputi (1) densitas, (2) dispersi (penyebaran) intern, (3) dispersi, (4) natalitas, (5) mortalitas, (6) pertumbuhan, dan (7) sebaran umur.

a. Densitas

Jumlah individu organisme di setiap unit atau volume adalah cara yang umum untuk merepresentasikan Densitas Populasi, yaitu ukuran populasi dalam jumlah ruang tertentu. Kepadatan(biasanya untuk fauna) atau kerapatan (biasanya untuk flora) merupakan istilah lain dari Densitas populasi. Tergantung pada periode dan lokasi, kepadatan populasi berfluktuasi. Dampak populasi terhadap suatu komunitas atau ekosistem bergantung pada jenis organisme yang ada serta ukuran populasi, dan dampak ini ditentukan oleh densitas populasi.

Densitas populasi dapat digunakan untuk memprediksi perubahan populasi pada saat tertentu.

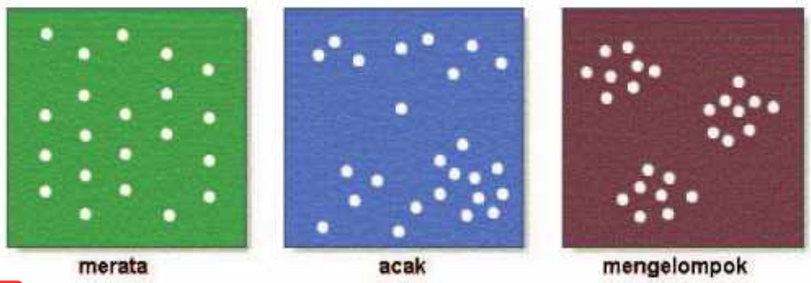
Menurut Gopal dan Bhardwaj (1979; Indriyanto (2006), ada dua tipe Densitas populasi, yaitu:

1. Densitas kasar, digambarkan sebagai jumlah organisme berbeda per area yang diteliti.
2. Densitas spesifik, jumlah individu organisme per luas area habitat, per unit ruang, atau jumlah ruang yang benar-benar ditempati oleh setiap individu anggota dari suatu organisme yang membentuk populasi. Dengan demikian hanya dapat menempati sebagian kecil dari keseluruhan ruang. Densitas ekologis adalah nama lain untuk densitas spesifik.

b. Dispersi (Penyebaran)

Salah satu dari tiga pola distribusi internal, atau pola penyebaran, menentukan bagaimana anggota populasi tersebar di dalam habitatnya. Odum (1983) menyatakan bahwa tiga pola distribusi internal, yaitu distribusi seragam, acak, dan mengelompok. Dapat Dijelaskan sebagai berikut (Gambar 6.2):

1. **Seragam/merata**; penyebaran yang terjadi apabila persaingan atau kompetisi antarindividu sangat hebat (ada antagonisme positif) hal ini mendorong pemerataan ruang. Ketika keadaan lingkungan setempat sebagian besar konsisten, maka terjadilah penyebaran yang seragam.
2. **Acak**; terjadi ketika kondisi lingkungan tetap konstan, ada sedikit atau tidak ada persaingan yang ketat di antara anggota populasi, dan tidak ada yang memiliki kecenderungan kuat untuk memisahkan diri.
3. **Mengelompok**; adalah pola distribusi populasi yang paling umum pada semua populasi di alam, baik tanaman maupun hewan. Distribsi mengelompok dapat memperburuk persaingan dalam makanan, nutrien, cahaya, dan ruang. Namun, dampak negatif persaingan ini seringkali diimbangi oleh dampak positif. Misalnya, mengelompok dapat membantu melindungi individu dari serangan pemangsa/predator.



Gambar 6.2 Tiga pola distribusi internal populasi dari organisme di alam liar

BAB 7

KOMUNITAS BIOTIK DALAM SISTEM EKOLOGI

7.1 KONSEP KOMUNITAS BIOTIK

Suatu organisme harus hidup berdampingan dengan organisme yang lain di suatu lokasi atau habitat, termasuk organisme yang serupa dan tidak berkerabat. Komunitas biotik adalah sekelompok populasi yang hidup berdampingan di suatu habitat dan diatur untuk menampilkan ciri-ciri tambahan individu dan populasi secara keseluruhan, seperti struktur dalam rantai makanan dan arus energi dalam sistem ekologi.

Ada dua komunitas biotik dalam sistem ekologi, yaitu: (1) komunitas mayor (utama), yaitu komunitas yang cukup besar yang tidak bergantung pada komunitas lain di sekitarnya, dan (2) komunitas minor, yaitu komunitas yang lebih kecil dan masih bergantung pada komunitas lain di sekitarnya.

Tidak semua organsime dalam suatu komunitas biotik memiliki peran yang sama dalam membentuk keadaan dan fungsi alami komunitas secara keseluruhan. Hanya sebagian kecil dari ratusan atau bahkan ribuan spesies organisme berbeda yang membentuk suatu komunitas merupakan pengendali komunitas yang signifikan dalam hal jumlah, ukuran, produksi, atau aktivitasnya.

Dominasi ekologi adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kelompok spesies yang mendominasi aliran energi dan memiliki dampak signifikan terhadap lingkungan dan spesies lainnya. "Indeks Dominasi" mengilustrasikan jumlah peran yang dimainkan setiap spesies organisme dibandingkan dengan komunitas secara keseluruhan, dan mencerminkan tingkat konsentrasi dominasi dalam satu atau beberapa spesies.

Misalnya, ikan baronang berbintik putih (*Siaganus canaliculatus*) diketahui melimpah di ekosistem padang lamun seperti yang ditemukan di perairan Tanjung Tiram-Teluk Ambon Dalam dan di perairan Pulau Buntal-Teluk Kotania di Seram Barat-Maluku, Indonesia., sebagaimana yang dilaporkan oleh Latuconsina *et al.* 2012; Latuconsina dan Ambo Rappe, 2013; Latuconsina *et al.* 2013). Kondisi ini menunjukkan bahwa keberadaan ikan baronang berbintik

putih di kedua lokasi tersebut berdampak pada struktur komunitas ikan karena lebih didominasi oleh satu spesies dalam hal penggunaan ruang yang tersedia untuk makan maupun aktivitas biologis lainnya. Fenomena seperti ini dapat terjadi secara musiman, maupun dapat terjadi dalam jangka panjang jika tidak ada ikan yang berperan sebagai predator untuk menekan laju peningkatan populasi ikan yang dominan.

7.2 SUKSESI KOMUNITAS BIOTIK

Menurut Whittaker (1970) dalam Ardhana (2012), terdapat tiga konsep yang dapat digunakan untuk mengamati pola komunitas, yaitu: (1) Gradien komunitas (*coenocline*), yaitu konsep yang dinyatakan dalam populasi; (2) gradien lingkungan (*environmental gradient*), yang melibatkan sejumlah faktor lingkungan yang berubah secara bersama-sama; dan (3) ekosistem (*ecocline*), di mana gradien yang kompleks dalam komunitas dan lingkungan berfungsi sebagai satu kesatuan.

Suksesi dalam komunitas vegetasi (tumbuhan) akan berakhir ketika komunitas tersebut memiliki komposisi spesies yang tetap dan bertahan karena proses regenerasi. Komunitas puncak adalah nama yang diberikan untuk komunitas semacam itu. Dalam prinsip ekologi, suksesi hanya mengacu pada perpindahan spesies perintis (pionir) oleh spesies yang lebih tangguh (stabil) dan berhasil beradaptasi dengan baik di alam liar. Suksesi terjadi sebagai akibat dari perubahan terus-menerus dari lingkungan fisik di dalam komunitas dan dapat diprediksi, yang berpuncak pada komunitas dan ekosistem 'klimaks'.

Menurut Ardhana (2012), stabilitas komunitas berhubungan dengan konsep keseimbangan spesies mulai dari awal suksesi sampai stadia stabil, meliputi hal-hal berikut:

1. Keseimbangan spesies non-interaktif, terutama terdapat pada komunitas pionir (perintis), di mana spesies meluas menempati habitat dan *niche* kosong. Kombinasi spesies dianggap bersifat non-interaktif.
2. Keseimbangan spesies interaktif. Terdapat pada komunitas yang terdiri dari spesies non-interaktif ditambah spesies interaktif. Spesies interaktif mempunyai adaptasi *niche* serupa dan spesies sedemikian membentuk grup ekologi.
3. Keseimbangan spesies asortif, yaitu masing-masing membentuk grup yang cocok. Ini ditafsirkan sebagai suatu stadia di mana interaksi antara spesies telah melahirkan kombinasi yang berlangsung dalam waktu lama dan berumur panjang.

4. Keseimbangan spesies secara evolusioner, ini dipandang sebagai stadia akhir perkembangan komunitas, yaitu kalau anggota spesies telah berubah secara genetik beradaptasi satu sama lain dan juga beradaptasi dengan lingkungannya.

Stadia keseimbangan spesies merupakan interpretasi yang menarik pada suksesi primer, yang dikenal melalui interaksi kompetitif dan kompleks struktural dalam perkembangan komunitas. Interpretasi ini juga menjelaskan tentang proses evolusioner terbentuknya spesiasi yang dilihat dari kerangka kerja komunitas dan ekosistem.

Perubahan yang mengakibatkan terbentuknya kondisi habitat yang mendukung munculnya komunitas baru akan berlangsung pada fase suksesi. Beberapa perubahan yang dilakukan sepanjang suksesi tersebut, menurut Resosoedarmo *et al.* (1986) dalam Indriyanto (2008) adalah sebagai berikut:

1. Sifat substrat tanah telah berubah, misalnya peningkatan kandungan bahan organik sejalan dengan munculnya komunitas yang lebih kompleks dengan susunan spesies tanaman yang luas.
2. Dengan meningkatnya kompleksitas struktur komunitas dan kepadatan individu organisme, stratifikasi akan berkembang dalam komunitas biotik.
3. Produktivitas komunitas meningkat sejalan dengan perkembangan komunitas biotik dan substrat.
4. Sampai suatu titik tertentu dalam proses suksesi komunitas, terjadi pertumbuhan jumlah spesies organisme.
5. Pada suatu wilayah yang mengalami proses suksesi terjadi peningkatan penggunaan sumber daya lingkungan seiring dengan peningkatan jumlah spesies organisme.
6. Karena susunan spesies tumbuhan, bentuk kehidupan tumbuhan, dan struktur komunitas bervariasi, iklim setempat juga berubah.
7. Seiring berkembangnya komunitas biotik, ia menjadi semakin kompleks dan akhirnya mencapai keadaan yang dikenal sebagai "Klimaks".

Penting untuk difahami bahwa selama proses suksesi, spesies tumbuhan dan hewan dalam suatu habitat akan terus berfluktuasi. Spesies tumbuhan dan hewan yang ada pada awal proses suksesi dikenal sebagai spesies pionir, dan mereka juga merupakan anggota komunitas yang penting. Namun, karena kondisi lingkungan telah berubah secara signifikan dan kondisi lingkungan baru telah terbentuk, maka spesies organisme pionir belum tentu menjadi anggota komunitas yang signifikan pada akhir proses suksesi, karena kondisi lingkungsan yang sudah berubah dan kemungkinan sudah kurang ideal untuk perkembangan spesies pionir.

Jika masih terdapat spesies tumbuhan dan hewan pionir tertentu yang bertahan hingga akhir proses suksesi, hal ini dikarenakan mereka mempunyai ambang toleransi yang sangat tinggi terhadap berbagai paramter lingkungan dan juga memiliki relung ekologi yang luas. Namun, spesies yang memiliki sifat demikian sangat sedikit jumlahnya.

Semua ekosistem menunjukkan pola umum pertumbuhan keanekaragaman spesies selama suksesi. Spesies autotrofik biasanya mencapai keanekaragaman maksimalnya sebelum organisme heterotrofik mencapainya. Meningkatnya jumlah bahan organik yang dapat diakses untuk memenuhi kebutuhan makanan organisme merupakan faktor lain yang berkontribusi terhadap peningkatan keanekaragaman spesies.

Proses-proses yang terlibat dalam suksesi melalui beberapa tahap, antara lain nudasi, invasi, kompetisi dan reaksi, serta stabilitas dan klimaks.

1. Nudasi: suksesi dimulai dengan terjadinya gangguan terhadap komunitas biotik baik akibat tekanan naturogenik maupun antropogenik.
2. Invasi, mengacu pada kedatangan berbagai jenis organisme dari lokasi baru dan pembentukan mereka di daerah baru. Organisme ini dapat berbentuk buah, biji spora, telur, atau larva. Tumbuhan biasanya merupakan spesies pionir yang awalnya muncul di berbagai habitat, sedangkan hewan mencakup herbivora, karnivora, maupun parasit yang hidupnya bergantung kepada tumbuhan yang berfungsi sebagai sumber makanan maupun habitat hewan tersebut. Invasi akan sempurna jika melalui tiga tahapan, yaitu migrasi, penyesuaian, dan agregasi.
3. Kompetisi dan reaksi individu-individu suatu organisme cenderung meningkat di suatu wilayah ketika jumlahnya bertambah sebagai hasil dari pertumbuhan dan reproduksi.

Ada dua tipe suksesi komunitas, yaitu sebagai berikut:

1. Suksesi Primer

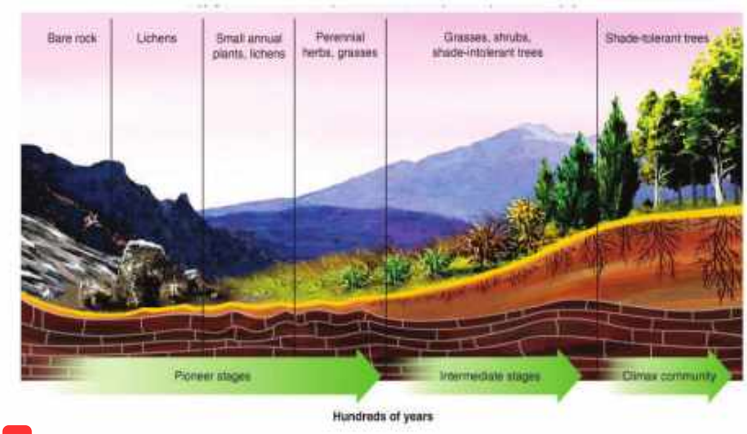
Suksesi Primer terjadi ketika komunitas asal terganggu, yang mengakibatkan komunitas asal menghilang sama sekali, memungkinkan terbentuknya habitat baru di tempat komunitas asal dulu. Peristiwa alam (naturogenik) seperti tanah longsor dan letusan gunung berapi, serta aktivitas manusia (antropogenik) seperti perluasan kawasan pertanian baru, pertambanga, dan pembangunan jalan, dapat menimbulkan gangguan.

Habitat yang baru terbentuk merupakan habitat ekstrim (area sangat terbuka), dengan intensitas cahaya matahari penuh, suhu siang hari yang tinggi dan rendah di malam hari, serta nutrien yang sangat sedikit. Spesies perintis

(pionir) didefinisikan sebagai organisme yang dapat mengkolonisasi habitat baru untuk pertama kalinya dan memiliki batas toleransi yang luas (eu[illegible]) untuk berbagai kondisi lingkungan. Organisme tingkat rendah (kelompok ganggang dan lumut) mampu mengubah batuan menjadi senyawa kimia yang larut dalam air, yang kemudian dapat dimanfaatkan oleh spesies tumbuhan lain. Organisme ini dapat bertahan hidup dalam lingkungan yang ektrem.

Tahapan proses suksesi primer menurut Resosoedarmo *et al.*, (1986) *dalam* Indriyanto (2006), yaitu:

1. Adanya pengembangan secara bertahap, seperti penambahan bahan organik untuk mengikuti perkembangan komunitas biotik yang semakin kompleks dan beragam dari sebelumnya.
2. Komunitas biotik yang lebih kompleks dan peningkatan kepadatan organisme.
3. Peningkatan produktivitas sejalan dengan perkembangan komunitas biotik.
4. Peningkatan keragaman jenis sampai tahapan tertentu diikuti peningkatan pemanfaatan sumber daya lingkungan
5. Variasi struktur komunitas dan komposisi spesies yang memengaruhi iklim mikro.
6. Komunitas biotik tumbuh dan berkembang pesat menjadi lebih kompleks.



Gambar 7.1 Bentuk suksesi primer di daratan (Enger dan Smith, 2006)

BAB 8
SISTEM EKOLOGI (EKOSISTEM)

8.1 PENGERTIAN EKOSISTEM

Ekosistem, juga dikenal sebagai sistem ekologi, merupakan tatanan tunggal yang saling berhubungan yang terdiri dari komponen hayati (biotik) dan non-hayati (abiotik) dalam sautu wilayah tertentu.

Interaksi dan pengaruh dari sejumlah faktor biotik (komponen organisme hidup) dan abiotik (komponen lingkungannya) yang bersama-sama merupakan unit fungsional. Oleh karena itu, upaya pengelolaan komponen biotik dan abiotik pada suatu ekosistem akuatik secara holistik merupakan bagian integral dari pengelolaan ekosistem. Dengan demikian ekosistem merupakan istilah kolektif untuk komunitas biotik dan abiotik yang saling berhubungan. Empat sistem yang terlibat dalam ekosistem yaitu; Abiotik, produsen, konsumen, dan pengurai yang membentuk empat sistem dalam suatu ekosistem.

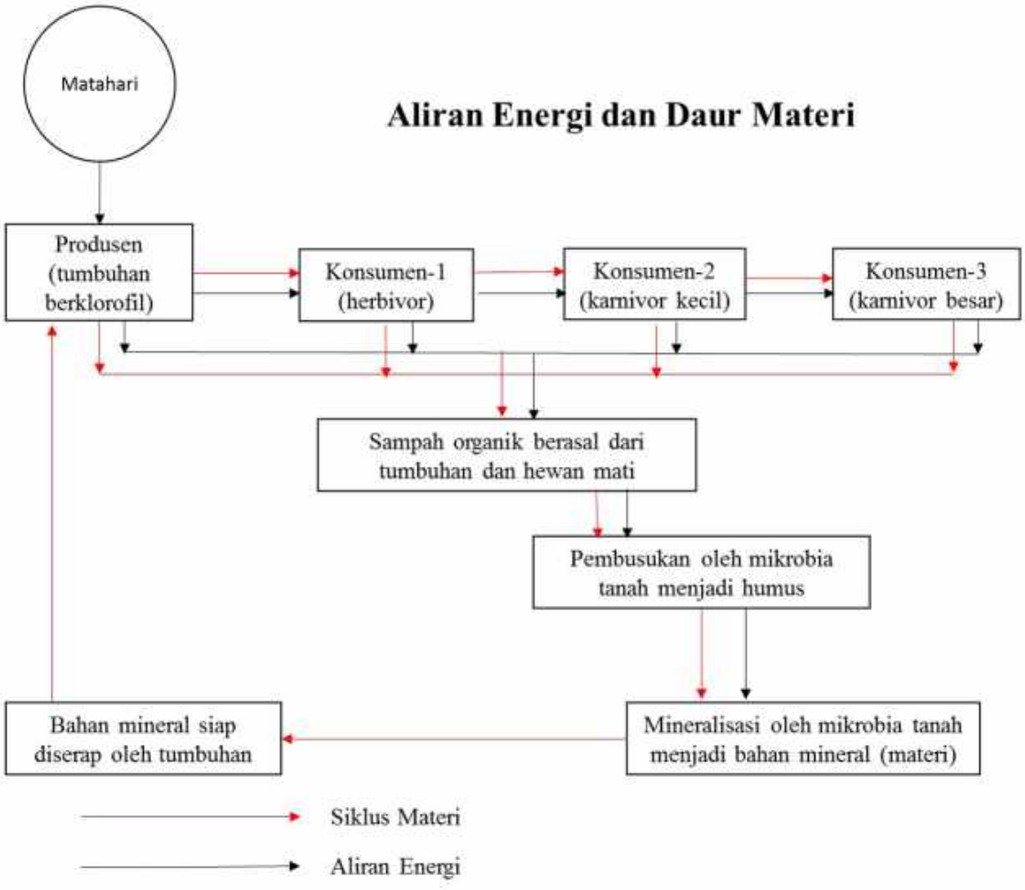
Ekosistem adalah kesatuan komunitas dengan lingkungannya atau tingkat organisasi di atas komunitas. Ekosistem memiliki dua komponen penting, yaitu aliran energi dan siklus materi. Semua komunitas biotik mengandalkan lingkungan abiotik untuk menerima energi dan sumber daya yang dibutuhkan untuk kehidupan. Organisme produsen membutuhkan energi dari lingkungan abiotik, serta cahaya, oksigen, air, dan garam mineral. Mekanisme jaring makanan memungkinkan energi dan sumber daya yang berasal dari konsumen tingkat pertama ditransfer ke konsumen tingkat kedua dan seterusnya ke tingkat trofik berikutnya.

Unsur biotik akan menyerap materi dan energi dari lingkungan abiotik, dan akhirnya akan kembali lagi ke lingkungan. Ekosistem adalah sistem yang menggambarkan kumpulan komunitas biotik dan lingkungan abiotiknya yang saling berinteraksi.

Pergerakan energi dan siklus materi melalui bagian penyusun ekosistem saling berhubungan. Kuantitas energi yang ditetapkan oleh tanaman sebagai

produsen menentukan berapa banyak energi yang mengalir melalui sistem alam. Ketika energi berpindah dari satu tingkat trofik ke tingkat trofik lainnya, sebagian darinya meninggalkan sistem sebagai akibat dari perubahan tersebut.

Hanya tanaman hijau atau klorofil yang mampu secara efektif menangkap, menyerap, dan menggunakan energi utama dari sinar matahari. Selanjutnya energi dari cahaya matahari diubah menjadi energi tersimpan (energi potensial) dalam bentuk materi (karbohidrat atau glukosa pada tumbuhan) melalui reaksi fotokimia yang berlangsung pada daun atau tumbuhan yang mengandung klorofil. Energi yang tersimpan ini kemudian digunakan oleh konsumen herbivora, seperti pada ekosistem padang lamun, di mana ikan baronang (*Siganus canaliculatus*) yang memakan makro alga (rumput laut), atau lamun. Selain itu, transfer materi dari tumbuhan ke hewan herbivora pada saat yang sama ketika energi matahari memasuki konsumen herbivora dan berubah menjadi energi untuk mendukung kebutuhan sehari-hari (Gambar 8.1).



Gambar 8.1 Aliran energi dan siklus materi dalam sistem ekologi (Harjojo *et al.*, 1996 *dalam* Anonim, 2007)

Studi kasus pada ekosistem padang lamun, Ketika ikan karnivora (piscivora) memakan ikan baronang (herbivora), terjadi transfer energi dan materi secara bersamaan dari herbivora ke karnivora, melanjutkan siklus materi dan transfer energi. Selain itu, ketika hewan karnivora mati, ia menjadi makanan bagi mikroorganisme, yang selanjutnya melepaskan nutrien ke sedimen atau perairan. Tumbuhan (produsen) akan menggunakan materi yang dihasilkan oleh mikroorganisme berupa mineral, dan hewan lain dalam ekosistem akan memanfaatkan bahan tersebut dengan mengkonsumsi tumbuhan melalui mekanisme rantai makanan yang kompleks dan dinamis.

Kaidah-kaidah dalam ekosistem, di antaranya adalah sebagai berikut (Odum, 1983; Heddy & Kurniati, 1996):

1. Suatu ekosistem diatur dan dikendalikan secara alamiah. Secara alamiah ekosistem 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 antarkomponen pembentuknya dan dikenal dengan istilah 'Homeostatis'. Homeostatis merupakan ketahanan suatu sistem biologis terhadap perubahan terus-menerus sehingga sistem tersebut selalu dalam keadaan seimbang.
2. Apabila unsur-unsur pendukung suatu ekosistem berada dalam keseimbangan dan menjalankan perannya secara efektif, maka ekosistem tersebut dapat berfungsi secara maksimal bila berada dalam keadaan seimbang. Apabila telah melewati ambang batas, maka ekosistem kehilangan kendali, sehingga menyebabkan perubahan atau krisis lingkungan yang tidak berkelanjutan bagi kelangsungan makhluk hidup..
3. Terdapat interaksi antara seluruh unsur-unsur lingkungan yang saling memengaruhi dan bersifat timbal balik, baik interaksi antara komponen biotik dan abiotik, interaksi antarkomponen biotik, maupun interaksi antarkomponen abiotik.
   a) Misalnya dalam suatu kolam perairan dengan tingkat kekeruhan partikel organik maupun anorganik yang tinggi akan memengaruhi tingginya tingkat kekeruhan sehingga menurunkan tingkat kecerahan perairan karena penetrasi cahaya matahari akan terhalangi sehingga menurunkan produktivitas primer perairan.
   b) Contoh interaksi antarkomponen biotik adalah antara fitoplankton dengan ikan, yang pada siang hari fitoplankton melakukan fotosintesis yang menghasilkan oksigen terlarut yang dapat dimanfaatkan oleh ikan dalam respirasinya yang mengeluarkan karbon dioksida (CO_2) untuk dimanfaatkan oleh fitoplankton dalam melakukan proses fotosintesis.

c) Contoh interaksi antarfaktor abiotik adalah kelarutan oksigen dalam air akan menurun dengan meningkatnya suhu air.

4. Keragaman antar ekosistem merupakan cerminan dari kualitas yang khas dari masing-masing ekosistem, dan masing-masing sangat tergantung dan rentan terhadap pengaruh dari aspek ruang dan waktu.
5. Setiap ekosistem yang di dalamnya ada unsur biotik dan abiotik terlibat dalam memilih interaksinya antara satu dengan yang lain.

8.2 KOMPONEN-KOMPONEN PENDUKUNG EKOSISTEM

Suatu wilayah dikatakan ekosistem apabila mempunyai komponen pendukung (Manik, 2007; Ardhana, 2012), yaitu:

1. Nonhayati (abiotik)
   Merupakan media berkembang dan berlangsungnya kehidupan makhluk hidup. Semua unsur nonhayati dari suatu lingkungan, termasuk cahaya, air, unsur hara, dan tanah, disebut sebagai komponen abiotik. Selain menyediakan energi dan sumber daya penting, variabel abiotik ini juga memengaruhi tumbuhan dan hewan berdasarkan habitatnya, yang dapat bertahan hidup di lokasi tertentu.
2. Komponen biotik (hayati)
   Semua bentuk kehidupan dianggap sebagai komponen biotik, yang selanjutnya dapat dipecah menjadi tiga jenis berdasarkan kinerjanya dalam ekosistem, yaitu: produsen, konsumen, dan pengurai, yang dapat dijelaskan sebagai berikut.
   a) Produsen, atau organisme autotrof yang mampu menghasilkan makanannya sendiri dalam arti dapat membuat komponen organik penyusun tubuhnya dari zat anorganik seperti CO_2 dan nutrien dengan bantuan sinar matahari. Tumbuhan hijau (klorofil) adalah organisme autotrofik karena mereka mampu melakukan proses fotosintesis untuk mengubah senyawa kimia sederhana menjadi senyawa yang lebih kompleks dan berenergi.
   b) Konsumen, khususnya organisme heterotrofik yang menggunakan bahan organik dari spesies lain sebagai bahan penyusun makanan dan sumber energi untuk pertumbuhan. Zooplankton, adalah konsumen utama fitoplankton, sedangkan ikan kecil adalah konsumen sekunder yang memanfaatakn zooplankton, dan ikan kecil dikonsumsi oleh ikan besar melalui jaring makanan yang kompleks.
   c) Dekomposer, atau organisme heterotrof yang mengurai bahan organik dari sisa produsen dan konsumen yang mati. Dekomposisi mengubah

BAB 9

EKOLOGI PERAIRAN TAWAR

9.1 KARAKTERISTIK EKOSISTEM PERAIRAN TAWAR

Habitat air tawar memiliki beberapa karakteriistik yang membedakannya dengan ekosistem perairan lainnya, diantaranya; perubahan suhu yang tidak signifikan, kurangnya penetrasi cahaya, dan dipengaruhi oleh cuaca dan iklim. Alga adalah jenis tanaman yang paling umum dijumpai di ekosistem perairan tawar, sisanya adalah tanaman berbiji, dan hampir setiap filum hewan ditemukan di perairan tawar.

Organisme perairan tawar memiliki adaptasi sebagai berikut:

1. Bentuk adaptasi Tumbuhan: Tumbuhan yang tumbuh subur di air tawar biasanya memiliki sel tunggal dengan dinding sel yang tebal, mirip dengan beberapa spesies alga hijau. Akar jangkar ditemukan pada tumbuhan tingkat tinggi seperti teratai (*Nymphaea gigantea*). Untuk dapat bertahan terhadap tekanan Air (hidrofit), maka Tumbuhan air seperti eceng gondok (*Pontederia crassipes*), memiliki adaptasi untuk dapat mengatur tekanan osmotik mereka agar sejalan dengan air di sekitarnya.
2. Bentuk Adaptasi hewan, nekton menghuni habitat air tawar dapat bergerak dengan menggunakan otot yang kuat. Hewan tingkat tinggi yang tinggal di air tawar, seperti ikan, menggunakan mekanisme osmoregulasi untuk menjaga keseimbangan air dalam tubuh mereka dengan mengatasi variasi tekanan osmotik melalui sistem ekskresi, insang, dan sistem pencernaan yang dimiliknya.

Kajian tentang ekosistem perairan tawar maka dikenal ekosistem perairan lotik (mengalir) misalnya sungai, dan ekosistem perairan lentik (tenang/tergenang) misalnya danau, rawa, dan lainnya.

9.2 EKOSISTEM PERAIRAN LOTIK (MENGALIR)

Perairan sungai merupakan salah satu contoh habitat perairan lotik (mengalir). Sungai adalah badan air yang mengalir hanya satu arah secara

longotudinal. Air di sungai dingin dan bersih, dengan sedikit sedimen dan makanan. Aliran air dan riakan air secara konstan memasok oksigen ke kolom air. Kondisi sungai sangat dipengaruhi oleh ciri-ciri lingkungan sekitarnya karena sungai merupakan salah satu ekosistem perairan yang berfungsi sebagai daerah tangkapan air (*catchment area*) bagi wilayah sekitarnya.

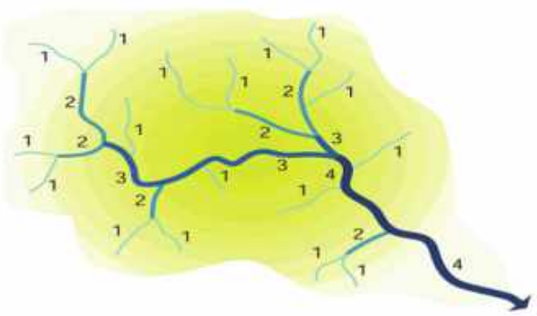
Sebagian ahli limnologi ragu apakah sungai dapat disebut sebagai ekosistem karena adanya proses fiksasi yang secara kuantitatif menyediakan sebagian besar energi yang diperlukan sistem tersebut, yang tidak berasal dari sistem sungai itu sendiri melainkan dari daerah tangkapan sungai (*catchment area*). Oleh karena itu, energi dari proses fiksasi dan konsumsi tidak terjadi di sistem yang sama, sebagaimana lazimnya pada setiap ekosistem yang mampu meregulasi dirinya sendiri (Lambert and Sommer, 1993 *dalam* Goltenboth *et al.*, 2012).

Di sebagian besar daerah pegunungan, sungai bermula di zona perairan inti. Saat mengalir ke bawah, sungai tersebut melebar dan bertambah volumenya, akhirnya menyatu dengan sungai lain menjadi sungai utama.

Karakteristik aliran air suatu sungai sebagian besar ditentukan oleh bentuk badan airnya. Keadaan ini berubah dari arah hulu sampai ke hilir, sehingga terbentuklah rangkaian sungai. Urutan ini telah digunakan untuk sejumlah badan air dan mencirikan sebuah sistem yang digunakan badan air dan mencirikan sebuah sistem yang digunakan untuk mengategorikan sungai dalam orde-orde sebagai berikut (Hynes, 1970 *dalam* Goltenboth *et al.*, 2012) (Gambar 9.1):

1. Orde sungai pertama: sungai-sungai kecil (*rivulet*) berasal dari sumber air.
2. Orde sungai kedua: dua orde sungai pertama membentuk orde sungai kedua dan seterusnya.

Gambar 9.1 memperlihatkan sistem sungai memiliki jaringan berupa percabangan yang disebut orde sungai dan memengaruhi besarnya debit aliran sungai. Alur sungai menjadi semakin lebar dan panjang seiring dengan bertambahnya jumlah ordo sungai.



Gambar 9.1 Sungai dengan orde yang menentukan debit aliran sungai (Rahayu *et al.*, 2009)

Menurut pendekatan metode Strahler (1957), alur sungai paling hulu yang tidak bercabang disebut orde pertama, pertemuan orde pertama disebut orde kedua, dan seterusnya hingga sungai utama yang memiliki nomor orde tertinggi, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 9.1 (Rahayu *et al.*, 2009).

9.2.1 Zonasi Sungai

Habitat air yang mengalir (lotik) seperti perairan sungai dikategorikan secara longitudinal, dengan tingkat yang lebih atas di bagian hulu sungai dan selanjutnya mengarah ke bagian bawah menuju hilir sungai.

Secara umum zonasi habitat air mengalir, yaitu:

a. Menurut gradien, sungai terbagi atas tiga zona, di antaranya adalah sebagai berikut:
   1. Kawasan hulu sungai; memiliki ciri-ciri daerah sempit dan berjenjang pada dataran tinggi, dengan arus air deras, konsentrasi oksigen terlarut tinggi, kedalaman air yang dangkal, kepadatan organisme rendah, dan substrat tersusun dari bongkahan bebatuan besar.
   2. Kawasan pertengahan; memiliki ciri tumbuhan daratan yang sedikit, keadaan air yang jernih, dan fotosintesis melebihi respirasi komunitas. Kondisi ini memacu perkembangan tumbuhan akuatik di tepi sungai. Makro invertebrata diwakili organisme bentos yang memakan alga dan bahan organik yang melekat di permukaan.
   3. Kawasan hilir; memiliki karakteristik wilayah yang luas di dataran rendah, arus air lambat, fotosintesis berkurang, kekeruhan tinggi, konsentrasi oksigen terlarut rendah, substrat berbatu kecil, kerikil, pasir dan lumpur, dengan kandungan bahan organik tergantung input dari kawasan hulu.

b. Menurut aliran air, terbagi atas dua zona (Gambar 9.2):
   1. Zona aliran air cepat, ditemukan di tempat-tempat dangkal dengan arus air yang kuat untuk mencegah akumulasi lumpur dan partikel lainnya mengendap di dasar sungai.
   2. Zona aliran air lambat; ditemukan di bagian yang lebih dalam dengan arus

Gambar 9.2 Zona sungai air deras (atas) (*jelajahiptek.blogspot.com*) dan zona air tenang (bawah) (Yudha, 2007)

yang lemah, memungkinkan lumpur dan partikel lain mengendap di dasar sungai.

Sistem sungai dipengaruhi dua faktor (Gambar 9.3), yaitu:

1. *Input*, air yang masuk pada setiap titik berasal dari empat sumber yaitu (a) persifitasi langsung air hujan, (b) limpasan dari daerah tangkapan air, (c) air tanah (*ground water*), dan (d) aliran dari hulu sungai.
2. *Output*, yaitu air yang keluar dari sungai, umumnya melalui tiga jalur, yaitu (a) evaporasi (penguapan), (b) mengalir menuju dataran rendah melalui cabang-cabang sungai, dan (c) mengalir ke bagian hilir sungai.

Gambar 9.3 *Input* dan *output* pada sistem sungai (Rahayu *et al.*, 2009)

Perairan sungai sebagai salah sartu bentuk ekosistem akuatik, terdiri dari berbagai unsur biotik dan abiotik yang senantiasa berinteraksi sehingga saling memengaruhi dan berdampak satu sama lain. Aliran energi dari komponen ekosistem sungai yang terintegrasi menjaga stabilitas ekosistem secara keseluruhan.

Zonasi sungai berdasarkan kecepatan arus, terbagi atas dua tipe, yaitu:

1. Zona arus deras yang dangkal, dan kecepatan arus yang cukup tinggi untuk menjamin tidak adanya lumpur dan dasar perairan yang kokoh. Zona ini merupakan habitat bagi (a) benthos yang telah beradaptasi, (b) perifiton yang menempel kuat, dan (c) ikan dengan kemampuan berenang yang kuat. (Gambar 9.4).

BAB 10

EKOLOGI PERAIRAN PAYAU (ESTUARI)

10.1 KARAKTERISTIK PERAIRAN ESTUARI

Estuari merupakan badan air semi tertutup di bagian hilir sungai yang menerima air tawar dari daratan (sungai) dan berhubungan bebas dengan perairan laut dangkal, kondisi ini memungkinkan terjadinya kombinasi air tawar dan air asin yang membentuk karaktersitik perairan Estuari yang unik.

Dikarenakan fakta bahwa arus pasang surut di perairan Estuari lebih dominan daripada arus yang digerakkan oleh angin atau gelombang, maka perilaku perairan estuari sangat dipengaruhi oleh aliran sungai dan aksi pasang surut air laut yang merupakan variabel independen.

Perairan estuari merupakan badan air di mana air tawar dari sungai dan air laut dari laut berinteraksi secara dinamis. Adanya perbedaan sifat fisika-kimiawi air tawar dan air asin, sehingga tidak mudah untuk bercampur. Kadang-kadang pencampuran ini terjadi sepenuhnya, tetapi kadang terstratifikasi menjadi lapisan-lapisan yang berbeda berdasarkan kadar salinitas.

Ekosistem pesisir lainnya seperti teluk, delta, hutan rawa, dan hutan mangrove sering dikaitkan dengan perairan estuari. Estuari merupakan contoh keterkaitan antara sistem daratan dan lautan karena berperan sebagai kolam pengendapan lumpur sungai dan sistem penyaring.

Menurut Supriharyono (2007), gabungan pengaruh air asin dan air tawar pada perairan estuari akan menghasilkan komunitas biotik yang khas dengan berbagai keadaan lingkungan, seperti berikut ini:

1. Titik pertemuan arus pasang surut dan arus air sungai yang berlawanan sehingga memiliki dampak yang signifikan terhadap organisme akuatik serta memiliki pengaruh besar terhadap sedimentasi, pencampuran air, dan sifat fisik lainnya.
2. Dengan percampuran dua massa air (air tawar dan air asin), menyebabkan sifat fisik lingkungan yang dihasilkan berbeda dengan air sungai dan air laut.

3. Organisme penghuni perairan estuari harus mampu beradaptasi secara morfologis, fisiologis maupun tingkah laku dengan lingkungannya sebagai respons terhadap dinamika lingkungan yang berhubungan dengan pasang surut air laur.
4. Sistem ekologis wilayah estuari sangat berbeda dengan perairan sungai dan perairan laut yang mengapitnya, karena salinitas perairan estuari tergantung pada pasang surut air laut, jumlah aliran air sungai, dan letak geografis.

10.2 PENGGOLONGAN PERAIRAN ESTUARI

Berdasarkan karakteristik geomorfologinya, perairan estuari dapat digolongkan menjadi empat tipe (Tuwo, 2011), yaitu:

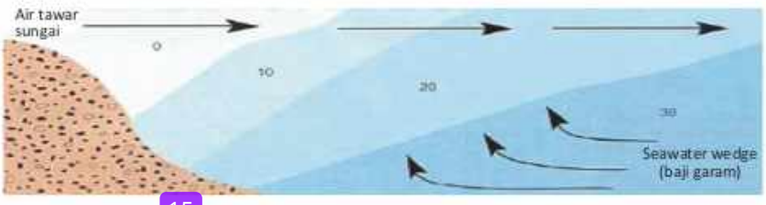
1) Estuari dataran pesisir, yang paling umum dijumpai, di mana formasi terjadi akibat naiknya permukaan laut yang sebagian sungai terendam di dekat pantai yang landai.
2) Estuari laguna atau teluk semi tertutup, formasi yang terbentuk dari beting pasir yang sejajar dengan garis pantai, sehingga mencegah interaksi langsung dan terbuka dengan perairan laut.
3) Estuari Fjords, tipe estuari yang dalam, terbentuk dari aktivitas gletser menyebabkan lembah es digenangi oleh air laut.
4) Estuari tektonik, yang terbentuk akibat aktivitas tektonik (gempa bumi) yang menyebabkan daratan turun dan kemudian tenggelam oleh air laut pada saat air pasang.

Batas estuari dengan laut memiliki salinitas tertinggi secara horizontal, sedangkan lokasi masuknya air tawar ke estuari memiliki nilai salinitas terendah. Sementara itu, secara vertikal, kadar salinitas di lapisan atas kolam perairan biasanya lebih rendah daripada salinitas di bawah lapisan kolom perairan. Hal ini disebabkan karena air asin yang memiliki berat jenis lebih tinggi karena mengandung banyak garam mineral cenderung berada di lapisan kolom air bagian bawah dan di atasnya adalah lapisan air tawar.

Berdasarkan pola sirkulasi dan stratifikasi air, estuari digolongkan menjadi tiga tipe (Bengen, 2002; Goltenboth *et al.*, 2012), yaitu:

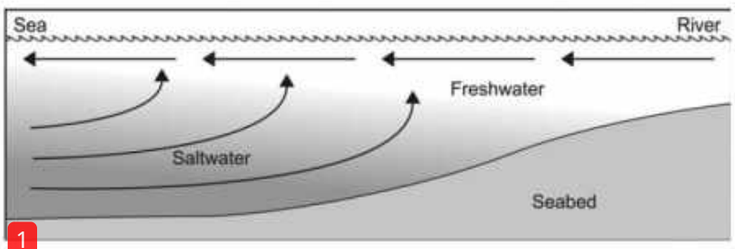
1. Estuari berstratifikasi sempurna (estuari baji garam), yaitu tipe estuari dengan stratifikasi salinitas yang kuat dan dicirikan oleh adanya batas yang jelas antara air tawar dan air asin. Bentuk estuari ini terdapat pada lokasi yang aliran air tawar dari sungai-sungai besar lebih mendominasi intrusi air asin dari laut yang diatur oleh pasang surut air laut. Tipe ini dijumpai pada sungai yang berarus lebih besar dari arus pasang surut sehingga air

tawar yang dibawa oleh sungai cenderung melimpasi air garam yang lebih berat dari laut (Gambar 10.1).



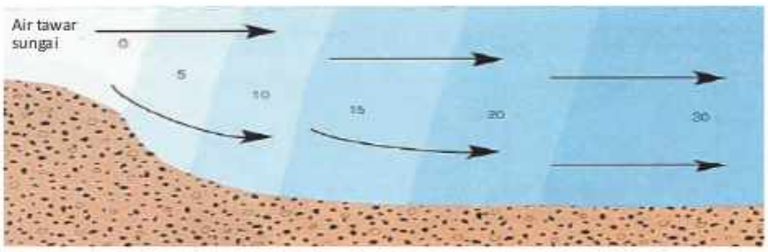
Gambar 10.1 Tipe estuari berstratifikasi sempurna (Bengen, 2002)

2. Estuari berstratifikasi sedang, merupakan tipe estuari yang terjadi pertukaran air vertikal karena agitasi di kolom air yang disebabkan oleh aksi pasang surut. Air cenderung mengalir keluar di permukaan saat air laut merayap masuk dari bawah. Kekuatan arus sungai dan arus pasang surut seimbang, menyebabkan salinitas naik secara bertahap seiring dengan kedalaman air (Gambar 10.2).



Gambar 10.2 Tipe estuari berstratifikasi sedang (Woodward, 2008)

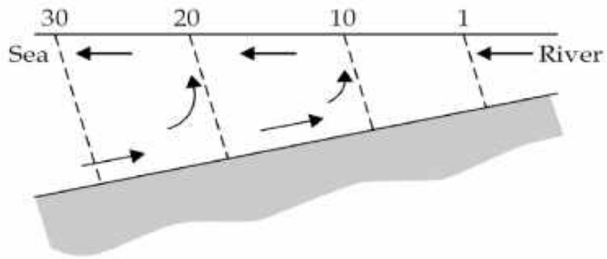
3. Estuari homogen vertikal (Campuran sempurna), Ketika gerakan pasang surut air laut sangat dominan dan air cenderung bercampur dengan baik dari atas ke bawah, kadar salinitas berubah dengan status pasang surut karena berada di bawah kendali pasang surut. Artinya salinitas di semua titik dapat berubah secara drastis tergantung pada posisi pasang surut, dengan air tawar dari sungai mendominasi saat air laut surut, dan sebaliknya air asin dari laut mendominasi saat air pasang tinggi. Tipe estuari seperti ini umumnya pada estuari berukuran kecil (Gambar 10.3).



Gambar 10.3 Estuari homogen vertikal atau campuran sempurna (Bengen, 2002)

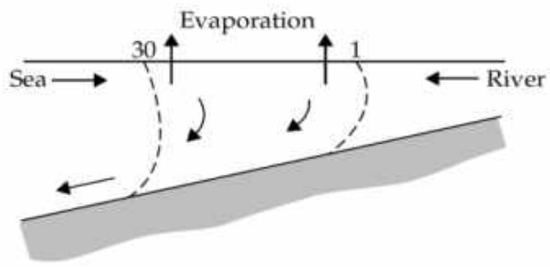
Berdasarkan distribusi salinitas, perairan estuari dikelompokkan atas tiga tipe (McLusky and Elliot, 2004; Supriharyono, 2007), yaitu:

1. *Positive estuary* (estuari positif), di mana proses penguapan dari permukaan air kurang dari volume air tawar dari *run-off* dan air hujan yang berlangsung masuk ke estuari. Air tawar yang dibawa oleh sungai mengalir di atas air asin dari laut, dan air tersebut bercampur secara vertikal dari dasar perairan ke permukaan (Gambar 10.4). Umumnya tipe estuari ini ditemukan pada daerah *temperate*.



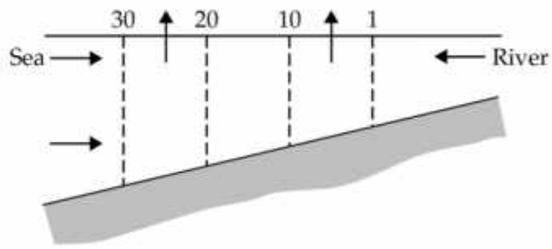
Gambar 10.4 Profil estuari positif (McLusky dan Elliot, 2004)

2. *Negative estuary* (estuari negatif), di mana terjadi kondisi yang berlawanan dengan tipe *positive estuary*, yang penguapan dari permukaan air melebihi air tawar dari *run-off* dan hujan yang masuk ke estuari (Gambar 10.5). Tipe estuari ini banyak dijumpai di daerah tropis, terutama pada daerah di mana pemasukan air tawar sangat terbatas. Penguapan menyebabkan salinitas permukaan naik menyebabkan massa air bagian permukaan lebih berat daripada yang ada di bawah. Setelah terjadi penguapan dan percampuran massa air tersebut keluar melalui dasar perairan.



Gambar 10.5 Profil estuari negatif (McLusky dan Elliot, 2004)

3. *Neutral estuary* (estuari netral), yaitu tipe estuari yang suplai air tawar ke estuari seimbang dengan yang menguap, dan kondisi ini menciptakan nilai salinitas yang statis (Gambar 10.6).



Gambar 10.6 Profil estuari netral (McLusky dan Elliot, 2004)

10.3 FAKTOR LINGKUNGAN PEMBATAS PADA PERAIRAN ESTUARI

Faktor yang memengaruhi percampuran air di perairan estuari adalah sebagai berikut:

1. Pasang surut air laut, mempunyai dampak besar karena dapat mencampurkan dan membuat turbulensi perairan estuari dalam skala besar.
2. Aliran air sungai mengalir di bagian atas perairan estuari pada saat tertentu akan bercampur dengan air asin yang mengalir di dasar estuari yang berasal dari laut.
3. Angin dan gelombang, yang memengaruhi percampuran massa air. Kecuali pengaruh pasang surut kecil, karena kedua faktor ini mempunyai pengaruh yang kecil terhadap perairan estuari. Angin juga akan mengakibatkan bervariasinya gelombang yang terjadi di permukaan dan dalam perairan yang berdampak pada proses pencampuran di estuari.

Adapun faktor pembatas pada ekosistem estuari, di antaranya adalah sebagai berikut:

1. Pasang surut. Pasang surut akan mendorong air laut lebih jauh ke hulu estuari, menggeser isohalin ke hulu di wilayah dengan perubahan pasang surut yang signifikan. Sebaliknya, air surut menyebabkan isohalin bergerak ke arah hilir estuari. Selain penting bagi pergerakan nutrien dan plankton, arus pasang surut juga membantu membilas dan mengencerkan sampah dari perairan estuari.
2. Suhu. Variasi suhu air pada perairan estuari terjadi karena masukan air tawar dari perairan sungai. Variasi suhu terjadi saat air tawar mengalir ke estuari dan bercampur dengan air asin. Oleh karena itu, air di estuari lebih rendah di musim penghujan dan lebih hangat di musim kemarau dibandingkan laut di sekitarnya.
3. Arus. Arus di estuari terutama disebabkan oleh ritme pasang surut dan aliran sungai. Selang waktu yang dibutuhkan sejumlah massa air tawar untuk dikeluarkan dari estuari disebut penggelontoran. Periode waktu ini

dapat menjadi titik acuan keseimbangan sistem estuari. Air bergerak dan terangkut dengan cara yang menguntungkan bagi biota estuari, khususnya plankton, yang hidup tersuspensi di dalam air, selama kurun waktu antara mengalirnya air dari sungai ke estuari dan masuknya air laut melalui arus pasang surut.

4. Kekeruhan. Saat aliran sungai mencapai maksimum, maka nilai kekeruhannya akan mencapai titik tertinggi. Nilai kekeruhan minimum saat berada di dekat mulut estuari, dan nilai kekeruhan air akan semakin meningkat seiring semakin ke arah hulu sungai.
5. Salinitas. Fluktuasi salinitas umum terjadi di perairan estuari. Pola gradien salinitas bervariasi, bergantung pada musim, topografi estuari, pasang surut, dan jumlah air tawar.
6. Oksigen terlarut. Masuknya air tawar dan air laut ke dalam estuari bersama kedangkalan, pengadukan dan pencampurannya menyebabkan cukupnya persediaan oksigen terlarut pada kolom air karena kelarutan oksigen dalam air berkurang dengan naiknya suhu dan salinitas.
7. Unsur hara (nutrien). Perairan estuari termasuk perairan yang subur karena menjadi tempat penampungan nutrien dari daratan. Menurut Nybakken (1992), perairan pantai termasuk estuari menerima sejumlah besar nutrien penting seperti fosfat dan nitrat melalui aliran dari daratan sehingga aktivitas di daratan memberikan sumbangan nutrien yang tinggi.
8. Sedimen. Substrat berlumpur yang dihasilkan dari sedimen yang dibawa oleh air laut dan air tawar mendominasi sebagian besar estuari. Sungai mengangkut partikel lumpur tersuspensi yang ketika mencapai dan bercampur dengan air laut di estuari, menyebabkan partikel lumpur tersebut menggumpal sehingga menghasilkan partikel yang lebih besar dan berat yang mengendap membentuk dasar lumpur karena adanya berbagai ion yang berasal dari air laut. Ketika air laut mencapai estuari, ia membawa material tersuspensi; keadaan yang terlindungi mengurangi kecepatan air, yang membuat beragam partikel tetap tersuspensi. Akibatnya, partikel-partikel tersebut mengendap dan berkontribusi pada pembentukan substrat berlumpur atau berpasir. Mayoritas partikel lumpur di perairan estuari bersifat organik (kadar bahan organik tinggi), yang merupakan sumber makanan penting bagi organisme heterotrofik.

10.4 SIKLUS NUTRIEN

Adanya pola arus pasang surut atau percampuran arus air laut dan air sungai di perairan estuari memungkinkan terperangkapnya nutrien (*nutrient*

BAB 12

PENERAPAN PRINSIP DASAR EKOLOGI DALAM UPAYA PENGELOLAAN SUMBER DAYA HAYATI PERAIRAN

12.1 PENDAHULUAN

Pentingnya pemahaman prinsip dasar ekologi dalam upaya pengelolaan sumber daya hayati perairan untuk pemanfaatan yang berkelanjutan didasarkan pertimbangan bahwa setiap ekosistem memiliki kesamaan dalam proses pengaliran energi dan siklus nutrien yang dilakukan oleh organisme hidup. Tiga komponen penting yang perlu diperhatikan dalam pemanfaatan dan pengelolaan ekosistem perairan yaitu aliran energi, siklus nutrien, dan organisme hidup.

Tujuan pengelolaan ekosistem perairan harus memaksimalkan kontribusi spesies pada tingkat trofik yang berbeda terhadap aliran energi dan siklus nutrien. Ini penting sebagaimana menurut (Tuwo, 2011[a]), karena aliran energi dari tingkat trofik yang lebih rendah ke tingkat trofik yang lebih tinggi hanya mengalir dalam satu arah dan menghasilkan penurunan kuantitas tetapi secara kualitas mengalami peningkatan. Berbeda dengan nutrien dapat didaur ulang dalam ekosistem dan digunakan berulang kali. Oleh karena itu, jika aliran energi, siklus nutrien, dan fungsi spesies di dalamnya terganggu, maka pemanfaatan sumber daya perairan secara berkelanjutan tidak akan terjadi.

Pengaliran energi dan sikus nutrien melibatkan suatu hubungan fungsional di antara beragam organisme hidup sesuai tingkat perkembangan atau kematangan suatu ekosistem. Pada ekosistem yang sedang berkembang akan tumbuh bentuk keseimbangan 'r', aliran energi dan siklus nutrien cenderung lebih sederhana sehingga belum optimal, ekosistem seperti ini memiliki sifat

yang kurang tahan terhadap gangguan atau perubahan serta memiliki daya pulih yang rendah bilamana mengalami gangguan dari luar (Tuwo, 2011[a]).

Sebagai contoh adalah ekosistem mangrove yang baru tumbuh dengan hanya terdiri dari beberapa spesies pionir (spesies perintis) akan sangat rentan terhadap perubahan akibat tekanan naturogenik maupun antropogenik. Sedangkan pada ekosistem mangrove yang telah matang (klimaks) yang terdiri dari berbagai spesies dengan biota asosiasi yang beragam dan melimpah (bentuk keseimbangan 'K') maka aliran energi dan siklus nutrien sudah sangat kompleks dan berjalan optimal sehingga jika terjadi gangguan maka ekosistem mangrove ini dapat pulih kembali dalam waktu relatif singkat. Oleh karena itu, dalam mengelola suatu ekosistem yang matang maka harus diupayakan agar tingkat pemanfaatan tidak menyebabkan bergesernya bentuk keseimbangan ekosistem dari bentuk 'K' ke 'r'.

Ekosistem perairan yang dieksploitasi secara tidak wajar, misalnya pemanfaatan ekosistem terumbu karang yang merusak, dapat menyebabkan bergesernya bentuk keseimbangan dari 'K' ke 'r'. Dalam situasi ini, cara organisme berinteraksi secara fungsional akan berubah, menyebabkan inefisiensi dalam aliran energi dan siklus nutrien, yang dapat menyebabkan kerugian di bidang ekologi dan berdampak lanjutan pada kerugian secara ekonomi sebagaimana menurut Tuwo (2011[a]).

Ilustrasi lain adalah penangkapan berlebihan terhadap Bivalvia Pecten maximus, yang dijual seharga US$20 per kg, hal ini mengakibatkan energi atau makanan yang tidak dapat diserap lagi oleh Bivalvia Pecten maximus dimakan oleh bivalvia lain yang berada pada tingkat trofik yang sama, seperti Clamis varia, yang hanya memiliki nilai jual di pasaran seharga US$2 per kg. Fenomena ini menunjukkan bahwa, meskipun terbentuk keseimbangan ekologis baru dari aliran energi dan siklus nutrien, namun secara ekonomis tidak menguntungkan karena penurunan harga energi atau sumber daya dari US $20 per kg menjadi US $2 per kg. Oleh karena itu, Tuwo, (2011[b]) menyarankan agar menghindari berbagai aktivitas antropogenik yang dapat berdampak buruk terhadap beberapa hal, di antaranya adalah: i) mengganggu siklus nutrien dan aliran energi, ii) menciptakan keseimbangan ekonomi yang tidak menguntungkan, dan iii) mengurangi daya dukung dan ketahanan ekosistem sebagai akibat dari penurunan keanekaragaman hayati.

12.2 PRINSIP STABILITAS EKOSISTEM DALAM PENGELOLAAN TERUMBU KARANG

Keanekaragaman hayati laut telah menurun akibat pemanasan global. Salah satunya, pada komunitas terumbu karang yang dibentuk oleh hewan

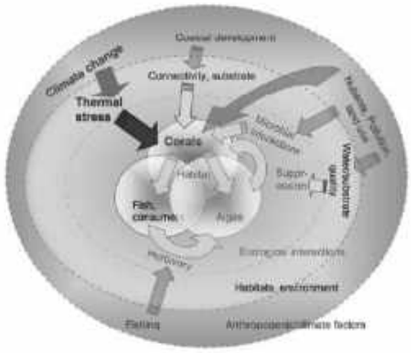
invertebrata (Filum Cnidaria, kelas Anthozoa) yang membentuk endapan masif dari tumpukan kapur ($CaCO_3$) sebagai hasil fotosintesis jutaan alga zooxanthellae yang hidup bersimbiosis di dalam jaringan tubuh hewan karang tersebut.

Menurut Idso (2009), konsekuensi kenaikan CO_2 di atmosfer adalah pemanasan global, yang menimbulkan sejumlah masalah pada ekosistem terumbu karang akibat terjadi perubahan berbagai faktor lingkungan yang membatasi pertumbuhan karang, seperti suhu dan intensitas radiasi ultraviolet dari cahaya matahari, di mana fenomena ini menyebabkan pemutihan (*bleaching*) dan kematian hewan karang.

Terumbu karang tumbuh subur di laut dangkal yang hangat, dengan kisaran suhu 25 hingga 29°C dan sangat sensitif terhadap variasi suhu air yang besar (Supriharyono, 2007). Polip karang sangat tertekan oleh kenaikan suhu air 1–2°C, dan jika tekanan ini berlangsung lama (3–6 bulan), pemutihan karang dapat terjadi akibat keluarnya alga *zooxanthellae* (alga simbion) dari tubuh hewan karang.

Pemutihan karang (*coral bleaching*) merupakan dampak global yang dialami terumbu karang. Dengan besarnya dampak *coral bleaching* di Indonesia maka harus mempertimbangkan konsep stabilitas ekosistem (resistensi dan resiliensi) dalam upaya pengelolaan ekosistem terumbu karang (Latuconsina, 2011).

Menurut West dan Salm (2003), resistensi merujuk pada kemampuan individu karang untuk menolak *bleaching* dan bertahan terhadap kerusakan serta menjaga struktur dan fungsinya secara utuh, sedangkan resiliensi merujuk pada kemampuan karang untuk beregenerasi melalui pertumbuhan dan reproduksi dan bertahan melalui rekrutmen larva dari dalam atau dari daerah sekitarnya.



Gambar 12.1 Interaksi beberapa faktor yang merusak terumbu karang, didominasi oleh tekanan dari variasi suhu akibat pemanasan global (Obura dan Grimsditch, 2009)

Ketika *coral bleaching* terjadi pada suatu komunitas karang, tidak semuanya mengalami kematian karena ada beberapa spesies tertentu yang memiliki kemampuan resistensi yang didukung dua faktor (West, 2001), yaitu faktor intrinsik, berupa toleransi fisiologis spesifik dari suatu spesies dan faktor lingkungan ekstrinsik yang memberikan perlindungan dari kondisi *bleaching*. Sementara itu, suatu koloni karang mengalami *bleaching*, memiliki resiliensi untuk pemulihan kembali setelah mengalami gangguan, dengan kemampuan kolonisasi dan reproduksi melalui rekrutmen larva dari dalam atau kawasan sekitarnya, dan faktor penentu resiliensi yaitu ketersediaan larva karang, pertumbuhan yang baik, dan rekrutmen larva karang baru.

Pemulihan karang akibat *bleaching* dengan mengandalkan sifat resistensi dan resiliensi hanya bisa terjadi bila kegiatan antropogenik dibatasi dan menjaga kondisi optimal pendukung pemulihan terumbu karang, meliputi beberapa hal berikut (Westmacott *et al.*, 2000):

1. Permukaan dasar yang padat, bebas makro alga sebagai substrat untuk penempelan dan pertumbuhan larva karang.
2. Daerah bebas *destructive fishing* dan sedimentasi yang dapat menghalangi pertumbuhan dan peremajaan karang.
3. Keberadaan karang dewasa yang matang seksual sebagai penyedia larva dan pergerakan arus untuk distribusi larva karang.
4. Perlindungan dari *overfishing* untuk mempertahankan populasi ikan herbivora yang memakan dan mengontrol pertumbuhan makroalga dan menjaga karang yang mati sebagai substrat bagi kolonisasi karang baru. Kerusakan terumbu karang di Indonesia didominasi aktivitas antropogenik, sementara ancaman *coral bleaching* oleh peningkatan suhu permukaan laut akibat pemanasan global tidak dapat terhindarkan.

Latuconsina (2011) merekomendasikan upaya mitigasi melalui konservasi dan rehabilitasi terumbu karang, dengan beberapa cara berikut (Gambar 12.2):

1. Pengembangan kawasan konservasi laut (KKL) secara efektif dengan mempertimbangkan konsep stabilitas ekosistem (resistensi dan resiliensi) dan pengelolaannya dengan sistem zonasi yang melibatkan masyarakat lokal melalui penerapan aturan dan sanksi tegas bagi pelanggarnya untuk menghindari konflik pemanfaatan dan mencegah *overfishing* serta kerusakan terumbu karang akibat *destructive fishing* yang memengaruhi keseimbangan struktur komunitas ikan.
2. Peningkatan rehabilitasi terumbu karang yang telah mengalami kerusakan melalui transplantasi dan penyediaan bibit karang buatan secara insitu pada lokasi terumbu karang yang telah mengalami kerusakan, serta penyediaan

Ekologi Perairan Tropis

ORIGINALITY REPORT

22%	20%	5%	5%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	ugmpress.ugm.ac.id Internet Source	2%
2	Submitted to UW, Stevens Point Student Paper	1%
3	id.scribd.com Internet Source	1%
4	docplayer.info Internet Source	1%
5	pt.scribd.com Internet Source	1%
6	core.ac.uk Internet Source	1%
7	es.scribd.com Internet Source	1%
8	isoi.or.id Internet Source	<1%
9	ejournal.stipwunaraha.ac.id Internet Source	<1%
10	123dok.com Internet Source	<1%
11	www.scribd.com Internet Source	<1%
12	repository.usu.ac.id Internet Source	<1%
13	text-id.123dok.com Internet Source	<1%

14	www.neliti.com Internet Source	<1 %
15	www.researchgate.net Internet Source	<1 %
16	adoc.pub Internet Source	<1 %
17	eckoeffendi.wordpress.com Internet Source	<1 %
18	dadospdf.com Internet Source	<1 %
19	repository.unhas.ac.id Internet Source	<1 %
20	pdfcoffee.com Internet Source	<1 %
21	edoc.pub Internet Source	<1 %
22	repository.ub.ac.id Internet Source	<1 %
23	karyatulisilmiah.com Internet Source	<1 %
24	gel.geo.ugm.ac.id Internet Source	<1 %
25	duta.co Internet Source	<1 %
26	repository.umi.ac.id Internet Source	<1 %
27	rizkijuliyantri.blogspot.com Internet Source	<1 %
28	repository.unisma.ac.id Internet Source	<1 %
	www.slideshare.net	

29	Internet Source	<1%
30	biogenesis.ejournal.unri.ac.id Internet Source	<1%
31	Submitted to Universitas Pendidikan Indonesia Student Paper	<1%
32	erick-kelautan.blogspot.com Internet Source	<1%
33	suprayitnoadi.blogspot.com Internet Source	<1%
34	Submitted to Universitas Jenderal Soedirman Student Paper	<1%
35	starlightheart1.blogspot.com Internet Source	<1%
36	www.updateinfoo.com Internet Source	<1%
37	qdoc.tips Internet Source	<1%
38	repo.unand.ac.id Internet Source	<1%
39	Submitted to Sastruyati Chao Test Account Student Paper	<1%
40	ejournal.uncen.ac.id Internet Source	<1%
41	Submitted to Universitas Diponegoro Student Paper	<1%
42	teguhheriyanto.blogspot.com Internet Source	<1%
43	digilib.uinkhas.ac.id Internet Source	<1%

44	Husain Latuconsina. "Dampak pemanasan global terhadap ekosistem pesisir dan lautan", Agrikan: Jurnal Ilmiah Agribisnis dan Perikanan, 2010 Publication	<1 %
45	id.123dok.com Internet Source	<1 %
46	publichealthgadiro.blogspot.com Internet Source	<1 %
47	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	<1 %
48	Submitted to Universitas Darma Persada Student Paper	<1 %
49	dspace.hangtuah.ac.id:8080 Internet Source	<1 %
50	fr.scribd.com Internet Source	<1 %
51	unsa-yhanie.blogspot.com Internet Source	<1 %
52	repo.uinsatu.ac.id Internet Source	<1 %
53	repository.unsoed.ac.id Internet Source	<1 %
54	Submitted to iGroup Student Paper	<1 %
55	referensigeography.blogspot.com Internet Source	<1 %
56	iktiologi-indonesia.org Internet Source	<1 %
57	anasmahfud44.blogspot.com Internet Source	<1 %

58	muhrandy29.blogspot.com Internet Source	<1 %
59	erghimuhammadnur2412.wordpress.com Internet Source	<1 %
60	eprints2.undip.ac.id Internet Source	<1 %
61	ayhaduck.blogspot.com Internet Source	<1 %
62	kuliahkelautan.blogspot.com Internet Source	<1 %
63	oceanerz.blogspot.com Internet Source	<1 %
64	www.slideserve.com Internet Source	<1 %
65	docobook.com Internet Source	<1 %
66	idoc.pub Internet Source	<1 %
67	journal.ipb.ac.id Internet Source	<1 %
68	budisatriya84.blogspot.com Internet Source	<1 %
69	Husain Latuconsina, Anita Padang, Aris M. Ena. "Iktiofauna di padang lamun Pulau Tatumbu Teluk Kotania, Seram Barat–Maluku", Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan, 2019 Publication	<1 %
70	biosaintropis.unisma.ac.id Internet Source	<1 %
71	eprints.umm.ac.id Internet Source	<1 %

72	digilib.unhas.ac.id Internet Source	<1 %
73	hadagomes.wordpress.com Internet Source	<1 %
74	www.powtoon.com Internet Source	<1 %
75	www.scirp.org Internet Source	<1 %
76	eprints.undip.ac.id Internet Source	<1 %
77	online-journal.unja.ac.id Internet Source	<1 %
78	ejournal2.undip.ac.id Internet Source	<1 %
79	ichakks.blogspot.com Internet Source	<1 %
80	cheigar-anak-lundayeh-kerayan.blogspot.com Internet Source	<1 %
81	haeryn.wordpress.com Internet Source	<1 %
82	marlina0936.blogspot.com Internet Source	<1 %
83	ojs3.unpatti.ac.id Internet Source	<1 %
84	Submitted to Politeknik Negeri Bandung Student Paper	<1 %
85	dspace.mic.ul.ie Internet Source	<1 %
86	karyailmiah.uho.ac.id Internet Source	<1 %
87	sarilgunawan79.wordpress.com	

	Internet Source	<1%
88	Husain Latuconsina, Madehusen Sangadji, La Sarfan. "Struktur Komunitas Ikan Padang Lamun Di Perairan Pantai Wael Teluk Kotania Kabupaten Seram Bagian Barat", Agrikan: Jurnal Ilmiah Agribisnis dan Perikanan, 2013 Publication	<1%
89	Submitted to Universitas Terbuka Student Paper	<1%
90	beringing.wordpress.com Internet Source	<1%
91	liyanaputriafifah.blogspot.com Internet Source	<1%
92	3lib.net Internet Source	<1%
93	www.kopertis12.or.id Internet Source	<1%
94	www.repositori.ity.ac.id Internet Source	<1%
95	aws15.blogspot.com Internet Source	<1%
96	biologiglobal.blogspot.com Internet Source	<1%
97	lpkm.umi.ac.id Internet Source	<1%
98	psp015.blogspot.com Internet Source	<1%
99	vdocuments.mx Internet Source	<1%
100	Husain Latuconsina. "Identifikasi alat penangkapan ikan ramah lingkungan di	<1%

kawasan konservasi laut Pulau Pombo Provinsi Maluku", Agrikan: Jurnal Ilmiah Agribisnis dan Perikanan, 2010
Publication

101	apa-itu.net Internet Source	<1 %
102	chaeruddin.com Internet Source	<1 %
103	eprints.unm.ac.id Internet Source	<1 %
104	imamfauzirohman.blogspot.com Internet Source	<1 %
105	kumparan.com Internet Source	<1 %
106	dewisnuadi.blogspot.com Internet Source	<1 %
107	indriyni03.blogspot.com Internet Source	<1 %
108	iperairan.blogspot.com Internet Source	<1 %
109	laariefmuhammad.blogspot.com Internet Source	<1 %
110	zenyfafisheries.blogspot.com Internet Source	<1 %
111	Diah Radini Noerdjito. "INTERAKSI MIKROALGA-BAKTERI DAN PERANANNYA DALAM PRODUKSI SENYAWA DALAM KULTUR MIKROALGA", OSEANA, 2019 Publication	<1 %
112	ecodivo.blogspot.com Internet Source	<1 %
113	geografibaru.blogspot.com Internet Source	<1 %

114	media.neliti.com Internet Source	<1 %
115	repository.ipb.ac.id Internet Source	<1 %
116	Submitted to Universitas International Batam Student Paper	<1 %
117	joxzyn.blogspot.com Internet Source	<1 %
118	rainadpa.blogspot.com Internet Source	<1 %
119	satriokelautan.wordpress.com Internet Source	<1 %
120	www.crc.uri.edu Internet Source	<1 %
121	zeansadewa.blogspot.com Internet Source	<1 %
122	Juspri Ginting. "ANALISIS KERUSAKAN TERUMBU KARANG DAN UPAYA PENGELOLAANNYA", Jurnal Kelautan dan Perikanan Terapan (JKPT), 2023 Publication	<1 %
123	aldriyanus.blogspot.com Internet Source	<1 %
124	link.springer.com Internet Source	<1 %
125	Submitted to Program Pascasarjana Universitas Negeri Yogyakarta Student Paper	<1 %
126	deskarwangi.blogspot.com Internet Source	<1 %
127	ejournal.unsrat.ac.id Internet Source	<1 %

128	nanopdf.com Internet Source	<1 %
129	pbsi.uad.ac.id Internet Source	<1 %
130	www.dosenpendidikan.com Internet Source	<1 %
131	wwwscienceletter07.blogspot.com Internet Source	<1 %
132	digilib.uin-suka.ac.id Internet Source	<1 %
133	es.slideshare.net Internet Source	<1 %
134	imammahmudi7.blogspot.com Internet Source	<1 %
135	library.binus.ac.id Internet Source	<1 %
136	pengayaan.com Internet Source	<1 %
137	vdocument.in Internet Source	<1 %
138	Submitted to Universitas Negeri Jakarta Student Paper	<1 %
139	anggikurniasih.blogspot.com Internet Source	<1 %
140	kacamatajingga.wordpress.com Internet Source	<1 %
141	repository.ut.ac.id Internet Source	<1 %
142	Muhamad Roem, Andi Niar, Dori Rachmawani. "ASOSIASI KOMUNITAS MAKROZOOBENTOS PADA PADANG LAMUN	<1 %

DI PERAIRAN PULAU PANJANG KEPULAUAN DERAWAN", Journal of Aquatropica Asia, 2022
Publication

143	Submitted to Queensland Academy for Science, Maths and Technology Student Paper	<1 %
144	Rahmat Ansyari, Achmad Ramadhan, I Nengah Kundera. "Development of Invertebrate Zoological Learning Videos for Students Based Ecological Aspects of Macrozoobentos in the Toaya River Waters", Jurnal Riset Pendidikan MIPA, 2021 Publication	<1 %
145	alpensteel.com Internet Source	<1 %
146	belajar.ditpsmk.net Internet Source	<1 %
147	ejournal.forda-mof.org Internet Source	<1 %
148	moam.info Internet Source	<1 %
149	ojs.mahadewa.ac.id Internet Source	<1 %
150	repository.trisakti.ac.id Internet Source	<1 %
151	repository.ubb.ac.id Internet Source	<1 %
152	sidos.uby.ac.id Internet Source	<1 %
153	storage.googleapis.com Internet Source	<1 %
154	Purwito Purwito. "Mengurangi Pemanasan Bumi Dengan Pola Hidup Hemat Energi",	<1 %

Jurnal Permukiman, 2008
Publication

155	Submitted to UIN Raden Intan Lampung Student Paper	<1 %
156	Submitted to Universitas Negeri Medan Student Paper	<1 %
157	Vivi Dwi Rohmawati, Husain Latuconsina, Hasan Zayadi. "Fish Community in Different Mangrove Habitat in Banyuurip Ujung Pangkah – Gresik Regency", Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan, 2021 Publication	<1 %
158	dlhk.bantenprov.go.id Internet Source	<1 %
159	download.garuda.ristekdikti.go.id Internet Source	<1 %
160	ekotum116c-pekarangandesadantalun.blogspot.com Internet Source	<1 %
161	eug3n14.wordpress.com Internet Source	<1 %
162	httparifblogspotcom-arif.blogspot.com Internet Source	<1 %
163	suharnojhonblog.wordpress.com Internet Source	<1 %
164	uthesmart.blogspot.com Internet Source	<1 %
165	www.pusdik.kkp.go.id Internet Source	<1 %
166	Tri Handayani. "PERANAN EKOLOGI MAKROALGA BAGI EKOSISTEM LAUT", OSEANA, 2019 Publication	<1 %

167	Submitted to Universitas Maritim Raja Ali Haji Student Paper	<1 %
168	Submitted to Universitas Sanata Dharma Student Paper	<1 %
169	dual-degree-bsi.blogspot.com Internet Source	<1 %
170	jfmr.ub.ac.id Internet Source	<1 %
171	ojs.uajy.ac.id Internet Source	<1 %
172	www.sridianti.com Internet Source	<1 %
173	Eka Nur Arifianti, Husain Latuconsina, Hasan Zayadi. "Composition and Density of Gastropode in Mangrove Habitat of Banyuurip, Ujung Pangkah - Gresik", Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan, 2021 Publication	<1 %
174	Puput Ika Putri, Febrianti Lestari, Susiana. "Potensi Sumberdaya Lamun sebagai Pencadangan Kawasan Konservasi di Perairan Beloreng, Tembeling, Kabupaten Bintan", Jurnal Akuatiklestari, 2018 Publication	<1 %
175	alatpertanian.net Internet Source	<1 %
176	aquaticessence.blogspot.com Internet Source	<1 %
177	arliafakhrunnisa.blogspot.com Internet Source	<1 %
178	berteriakbebas.blogspot.com Internet Source	<1 %

179	carapedia.com Internet Source	<1 %
180	pascamelisa.blogspot.com Internet Source	<1 %
181	ramalaut08.wordpress.com Internet Source	<1 %
182	raulaiiqbal.blogspot.com Internet Source	<1 %
183	repository.ung.ac.id Internet Source	<1 %
184	sinta.ristekbrin.go.id Internet Source	<1 %
185	www.actualidadmotor.com Internet Source	<1 %
186	Chika Litawaty Tamsir, Ridwan Lasabuda, Adnan S. Wantasen, Khristin I. F. Kondoy, Alex D. Kambey, Calvyn Sondak. "Benefit Value of Mangrove Forest in Sarawet Village, Likupang Timur, Minahasa Utara", Jurnal Ilmiah PLATAX, 2022 Publication	<1 %
187	Submitted to Universitas Airlangga Student Paper	<1 %
188	Submitted to Universitas Tidar Student Paper	<1 %
189	balitek-ksda.or.id Internet Source	<1 %
190	budhiachmadi.wordpress.com Internet Source	<1 %
191	e-journal.uajy.ac.id Internet Source	<1 %
	ebook3d.bit.lipi.go.id	

192	Internet Source	<1 %
193	iwangeodrsgurugeografismamuhammadiyah1tasikmal Internet Source	<1 %
194	langitselatan.com Internet Source	<1 %
195	octharina.blogspot.com Internet Source	<1 %
196	prosiding.fh.ubb.ac.id Internet Source	<1 %
197	repositori.uin-alauddin.ac.id Internet Source	<1 %
198	share.america.gov Internet Source	<1 %
199	veronika-borneng.blogspot.com Internet Source	<1 %
200	www.best.or.id Internet Source	<1 %
201	www.qureta.com Internet Source	<1 %
202	yanticristin.blogspot.com Internet Source	<1 %
203	F GOLTENBOTH. "Estuaries and soft bottom shores", Ecology of Insular Southeast Asia, 2006 Publication	<1 %
204	Fitroh Resmi. "Kendali Optimal pada Sistem Prey Predator dengan Pemberian Makanan Alternatif pada Predator", JURNAL MATHEMATIC PAEDAGOGIC, 2019 Publication	<1 %

205	Salim Abubakar, Riyadi Subur, Rina Rina, Masykhur Abdul Kadir, Mesrawaty Sabar, Darmawaty Darmawaty, Nebuchadnezzar Akbar. "Seagrass Potential as Supporting Ecotourism in Sibu Island, Subdistrict North Oba, North Maluku Province", Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan, 2020 Publication	<1 %
206	aditanjung.wordpress.com Internet Source	<1 %
207	agnazgeograph.wordpress.com Internet Source	<1 %
208	aimarusciencemania.wordpress.com Internet Source	<1 %
209	anggraini17wy.blogspot.com Internet Source	<1 %
210	animarlina.wordpress.com Internet Source	<1 %
211	arifrachman27.wordpress.com Internet Source	<1 %
212	arinarizkin.wordpress.com Internet Source	<1 %
213	aswansakumoto.blogspot.com Internet Source	<1 %
214	biologiklaten.wordpress.com Internet Source	<1 %
215	dessydwiariyani.blogspot.com Internet Source	<1 %
216	digilib.itb.ac.id Internet Source	<1 %
217	digilib.unila.ac.id Internet Source	<1 %

218	ejournal.unib.ac.id Internet Source	<1 %
219	godok.id Internet Source	<1 %
220	he-wroteyou.com Internet Source	<1 %
221	hutanbakausmk3.blogspot.com Internet Source	<1 %
222	ichsansuwandhi.blogspot.com Internet Source	<1 %
223	idoc.tips Internet Source	<1 %
224	jejakpesisir.com Internet Source	<1 %
225	jurnalsaintek.uinsby.ac.id Internet Source	<1 %
226	kecoakireng.blogspot.com Internet Source	<1 %
227	koranpagionline.com Internet Source	<1 %
228	laporanpraktikumlengkap.blogspot.com Internet Source	<1 %
229	lismurtini270992.wordpress.com Internet Source	<1 %
230	mafiadoc.com Internet Source	<1 %
231	ml.scribd.com Internet Source	<1 %
232	natur.ejournal.unri.ac.id Internet Source	<1 %
	ojs.unud.ac.id	

233	Internet Source	<1 %
234	pdfcookie.com Internet Source	<1 %
235	queenbeelaosangel.blogspot.com Internet Source	<1 %
236	regianiyunistika.wordpress.com Internet Source	<1 %
237	repositori.usu.ac.id Internet Source	<1 %
238	republika.co.id Internet Source	<1 %
239	rianbio.wordpress.com Internet Source	<1 %
240	summer-absolutely.icu Internet Source	<1 %
241	surajis.wordpress.com Internet Source	<1 %
242	syafronipranata.home.blog Internet Source	<1 %
243	talenta.usu.ac.id Internet Source	<1 %
244	visionerweb.wordpress.com Internet Source	<1 %
245	wirahadie.com Internet Source	<1 %
246	www.arissubagiyo.com Internet Source	<1 %
247	Alismi M. Salanggon, Alfiani Eliata Sallata, Fathuddin Fathuddin, Eka Aji Pramita, Roni Hermawan, Mohamad Akbar. "Kondisi	<1 %

Terumbu Karang di Kawasan Konservasi Perairan Morowali", Jurnal Kelautan Nasional, 2022
Publication

248 Arielno Sahalessy, Laura Siahainenia, Charlotha I Tupan. "STRUKTUR KOMUNITAS LAMUN DAN BENTUK-BENTUK PEMANFAATAN EKOSISTEM LAMUN DI NEGERI AMAHAI KABUPATEN MALUKU TENGAH", TRITON: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan, 2023 <1%
Publication

249 Erfan Andi Hendrajat, Andi Sahrijanna. "KONDISI PLANKTON PADA TAMBAK UDANG WINDU (Penaeus monodon FABRICIUS) DENGAN SUBSTRAT BERBEDA", BERITA BIOLOGI, 2019 <1%
Publication

250 Fahrul R. Fakaubun, Yusthinus T Male, Debby A. J. Selanno. "Biokonsentrasi dan Bioakumulasi Mercury (Hg) Pada Lamun Enhalus Acoroides Di Teluk Kayeli Kabupaten Buru Provinsi Maluku", Indo. J. Chem. Res., 2020 <1%
Publication

251 Indri S Manembu, Edwin L.A Ngangi. "Identifikasi lingkungan perairan untuk budi daya karang hias di desa Arakan Kabupaten Minahasa Selatan", e-Journal BUDIDAYA PERAIRAN, 2016 <1%
Publication

252 Jouvan Randy Ekel, Indri Shelovita Manembu, Hermanto Wem Kling Manengkey, Kakaskasen Andreas Roeroe et al. "Diversity of Coral Genus Scleractinia in Tidung Island Waters, Seribu Islands, DKI Jakarta Province", Jurnal Ilmiah PLATAX, 2021 <1%

Publication

253	Maya M.S. Puttileihalat, A. Tuhumury, J.Ch. Hitipeuw. "Keanekaragaman Jenis Satwa Burung di Areal Mangrove Desa Passo Kecamatan Teluk Ambon Baguala Kota Ambon", MAKILA, 2020 Publication	<1 %
254	Moeliono M., Limberg G., Minnigh P., Mulyana A., Indriatmoko Y., Utomo N.A., Saparuddin, Hamzah, Iwan R., Purwanto E.. "Meretas kebuntuan: konsep dan panduan pengembangan zona khusus bagi Taman Nasional di Indonesia", Center for International Forestry Research (CIFOR), 2010 Publication	<1 %
255	Submitted to Universitas Trunojoyo Student Paper	<1 %
256	ahmad-scr.blogspot.com Internet Source	<1 %
257	ajoekologi.blogspot.com Internet Source	<1 %
258	artikelpendidikan.id Internet Source	<1 %
259	beritasatumedia.cld.bz Internet Source	<1 %
260	bongsochicha.blogspot.com Internet Source	<1 %
261	books.google.com Internet Source	<1 %
262	bse.mahoni.com Internet Source	<1 %
263	budimanp20.wordpress.com Internet Source	<1 %

264	damnloveit.blogspot.com Internet Source	<1%
265	doku.pub Internet Source	<1%
266	dwisuheriyanto.wordpress.com Internet Source	<1%
267	edoc.site Internet Source	<1%
268	ejournal.um-sorong.ac.id Internet Source	<1%
269	ejournal3.undip.ac.id Internet Source	<1%
270	ekaazzuhraa.wordpress.com Internet Source	<1%
271	emprorerfaisal.blogspot.com Internet Source	<1%
272	eprints.uny.ac.id Internet Source	<1%
273	finishwellunbiologi.wordpress.com Internet Source	<1%
274	hanahunafaajah.blogspot.com Internet Source	<1%
275	hedisasrawan.blogspot.com Internet Source	<1%
276	ibnumalkanhasbii.blogspot.com Internet Source	<1%
277	imadeputrawan.wordpress.com Internet Source	<1%
278	jefry-bp09.blogspot.com Internet Source	<1%
	konsultasiskripsi.com	

279	Internet Source	<1 %
280	lib.unnes.ac.id Internet Source	<1 %
281	makalahtugasmu.blogspot.com Internet Source	<1 %
282	media.unpad.ac.id Internet Source	<1 %
283	monruw.wordpress.com Internet Source	<1 %
284	munabarakati.blogspot.com Internet Source	<1 %
285	nationalgeographic.grid.id Internet Source	<1 %
286	nonamecoffee.blogspot.com Internet Source	<1 %
287	ojs.uho.ac.id Internet Source	<1 %
288	oniakino.blogspot.com Internet Source	<1 %
289	penerbit.lipi.go.id Internet Source	<1 %
290	perikananbdp.blogspot.com Internet Source	<1 %
291	repositorio.ufpe.br Internet Source	<1 %
292	repository.uin-suska.ac.id Internet Source	<1 %
293	ria-poenya.blogspot.com Internet Source	<1 %
294	roejha.blogspot.com	

	Internet Source	<1 %
295	sandrakania.wordpress.com Internet Source	<1 %
296	sanggoro.blogspot.com Internet Source	<1 %
297	taghfirin.wordpress.com Internet Source	<1 %
298	tntigeofizik.blogspot.com Internet Source	<1 %
299	wahidah60.blogspot.com Internet Source	<1 %
300	wildimaulidaseptina.blogspot.com Internet Source	<1 %
301	www.coursehero.com Internet Source	<1 %
302	www.jakarta.diplo.de Internet Source	<1 %
303	www.killerplants.com Internet Source	<1 %
304	www.saturadar.com Internet Source	<1 %
305	www.studocu.com Internet Source	<1 %
306	yayanajuz.blogspot.com Internet Source	<1 %
307	zee-marine.blogspot.com Internet Source	<1 %
308	zombiedoc.com Internet Source	<1 %

309	Charlotha Irenny Tupan, Ferdinandus Sangur, Grasiano W Lailossa. "Potensi Karbon pada Lamun Thalassia hemprichii dan Enhalus acoroides di Perairan Pantai Waai Pulau Ambon", JURNAL SUMBERDAYA AKUATIK INDOPASIFIK, 2021 Publication	<1 %
310	Nuske Kamurahan, Nego E. Bataragoa, Anneke V. Lohoo. "Fish Abundance In South Poigar Rivermouth South Minahasa", JURNAL PERIKANAN DAN KELAUTAN TROPIS, 2020 Publication	<1 %
311	annaveanza.blogspot.com Internet Source	<1 %
312	fitrhyanhyansar.wordpress.com Internet Source	<1 %
313	ilmu-kimia-kimia.blogspot.com Internet Source	<1 %
314	journal.unhas.ac.id Internet Source	<1 %
315	lingkunganenergi.blogspot.com Internet Source	<1 %
316	manajimensumberdayaperairan.blogspot.com Internet Source	<1 %
317	repository.radenintan.ac.id Internet Source	<1 %
318	rumahkaca-1993.blogspot.com Internet Source	<1 %
319	sisaaura.blogspot.com Internet Source	<1 %
320	www.dosenpendidikan.co.id Internet Source	<1 %

321	zaifbio.wordpress.com Internet Source	<1%
322	animarlinarosadi.wordpress.com Internet Source	<1%
323	awalsainsmc.blogspot.com Internet Source	<1%
324	isrhawati.blogspot.com Internet Source	<1%
325	jurnal.iainambon.ac.id Internet Source	<1%
326	laporanmatakuliahperikanan.blogspot.com Internet Source	<1%
327	partypoenya.blogspot.com Internet Source	<1%
328	pwdusu2014.wordpress.com Internet Source	<1%
329	robiblogaddes.blogspot.com Internet Source	<1%
330	shela1710.blogspot.com Internet Source	<1%
331	tadjuddahmuslim.wordpress.com Internet Source	<1%
332	world-of-fisheries.blogspot.com Internet Source	<1%

Exclude quotes	Off	Exclude matches	Off
Exclude bibliography	Off		