

Djohar Maknun, S.Si., M.Si.

EKOLOGI:

POPULASI, KOMUNITAS, EKOSISTEM

Mewujudkan Kampus Hijau, Asri, Islami dan Ilmiah



Perpustakaan Nasional Republik Indonesia : Katalog Dalam Terbitan
(KDT)

ISBN:

978-602-9074-59-8

Judul Buku:

Ekologi: Populasi, Komunitas, Ekosistem Mewujudkan Kampus Hijau
Asri, Islami dan Ilmiah

Penulis:

Djohar Maknun, S.Si., M.Si

Editor:

Ahmad Zaeni

Di Terbitkan oleh:

Nurjati Press

Jl Perjuangan By Pass Sunyaragi Cirebon

Telp/Fax (0231) 481264/ (0231) 489926

Email : nurjatipress@gmail.com

Edisi Juni 2017

Hak Cipta ada pada penulis dan dilindungi Undang-Undang Nomor 19
Tahun 2002, Pasal 2, Ayat (1) dan Pasal 72 Ayat (1) dan (2) tentang Hak
Cipta. Dilarang memperbanyak buku ini, tanpa ijin dari penulis dan
penerbit.

EKOLOGI:
POPULASI, KOMUNITAS,
EKOSISTEM, *Mewujudkan*
Kampus Hijau, Asri, Islami dan
Ilmiah

Djohar Maknun, S.Si., M.Si.

DAFTAR TABEL

Table 2.1. Tipe interaksi antarspesies	21
Table 5.1. Transfer Energi (%).....	63
Tabel 5.2. Efisiensi waktu (%).....	63
Table 7.1 Contoh Binatang Padang Rumput.....	99
Table 11.1. Evolusi CO ₂ dari pengukuran di dasar hutan.....	171

DAFTAR GAMBAR

PENGERTIAN DAN RUANG LINGKUP EKOLOGI

1.1. Kue Lapis Biologi	2
1.2. Tingkat Spektrum Organisasi	3
1.3. Pembagian Ekologi	5

KONSEP POPULASI

2.1. Piramida Umur Teoretik Menunjukkan Persentase Tinggi Ukuran Populasi Rendah, Medium dan Tinggi.....	10
2.2. Pola daya Dukung Lingkungan	16
2.3. Pola Penyebaran Populasi	19

KONSEP KOMUNITAS

3.1. Perubahan Indeks keanekaragaman Shannon dari Bentuk pada Aliran Sungai Waktu Terjadi Pencemaran(PencemaranDomestikdanpabrik)	31
---	----

KONSEP EKOSISTEM

4.1. Tingkatan Trofik	42
4.2. Transfer Energi dan Materi Melalui Organisme	49
4.3. Rantai Makanan	50
4.4. Hubungan Antara Rantai Makanan dan Jaring-jaring Makanan	52
4.5. Gangguan pada Ekosistem Hutan	53
4.6. Gangguan pada Ekosistem Sungai	53

KONSEP DAUR BIOGEOKIMIA

6.1. Pengertian daur biogeokimia	82
6.2. Daur Air	84
6.3. Daur Karbon	84
6.4. Daur Nitrogen	86
6.5. Daur Belerang (sulfur)	87
6.6. Daur Posfor	90

SUKSESI

- 8.1. Keterkaitan Dinamika Ekosistem dan Suksesi 110
- 8.2. Suksesi Primer dan Suksesi Sekunder 112
- 8.3. Skema Terjadinya Vegetasi Klimaks 120

FAKTOR PEMBATAS DAN FAKTOR FISIK LINGKUNGAN

- 9.1. Perbandingan Batas Toleransi Nisbi (Relatif) dari organisme stenothermal dan eurithermal..... 127
- 9.2. Pengendalian Musim Perkembanganbiakan Trout dengan Manipulasi 130

EKOLOGI AIR TAWAR

- 10.1. Berbagai Organisme Air Tawar Berdasarkan Cara Hidupnya 147
- 10.2. Empat Daerah Utama pada Danau Air Tawar 150

EKOLOGI DARATAN

- 11.1. Penurunan Kotoran di Hutan-hutan dalam Hubungannya dengan ketinggian tempat 170

EKOLOGI ESTUARIA

- 12.1. Pantai Estuaria 177
- 12.2. Pembentukan Fjord 181
- 12.2. Pembentukan Fjord 181
- 12.4. Rantai Makanan 1di estuaria 189

EKOLOGI LAUT

- 13.1. Relief Dasar Laut 196
- 13.2. Wilayah Laut Menurut Kedalamannya 197
- 13.3. Pembagian Wilayah Laut 198
- 13.4. Pantai 199
- 13.5. Bagian-bagian Wilayah Pantai 203
- 13.6. Ekosistem Terumbu Karang 204
- 13.7. Ekosistem Terumbu Karang Karang Terumbu Dan Hewan karang 206
- 13.8. Tipe-tipe Terumbu Karang..... 207

13.9. Rantai Makanan di estuaria	212
13.10. Kerangka Pemikiran Pengelolaan Stuarial	213
13.11. Padang Lamun	215
13.12. Tumbuhan Lamun	215
13.13. Ekosistem yang Saling Berkaitan.....	217

EKOLOGI KAMPUS

14.1 Suasana pendekatan Ekologi Untuk Kampus Hijau.....	231
14.2 Gambar Zona Hijau.....	232

Kata Pengantar

Peran ekologi sangat penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan dan pembangunan berkelanjutan. Sebagai disiplin ilmu, ekologi harus dikaji, dipahami dengan serius dan benar, sehingga perilaku kita terhadap lingkungan menjadi lebih arif dan tidak merusak karena kepentingan pembangunan semata. Pemahaman yang benar terhadap lingkungan alam merupakan modal besar dalam menjaga kelestarian lingkungan dan pertimbangan kebijakan pembangunan di negara kita.

Buku ini disusun untuk memudahkan pemahaman ekologi yang lebih praktis dan manfaat. Kajian ekologi dari mulai yang sederhana ke kajian yang lebih kompleks, dan disertai ilustrasi yang menarik untuk mempermudah pemahaman mahasiswa mengenai konsep-konsep ekologi. Tidak lupa penulis sampaikan penghargaan yang tulus dan terima kasih kepada pihak penerbit dan lembaga IAIN Syekh Nurjati Cirebon yang memfasilitasi karya buku ini.

Tiada gading yang tak retak, demikian pula dengan buku ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, tegur sapa dan kritik yang sifatnya konstruktif sangat dihargai. Harapannya buku sederhana ini dapat bermanfaat dan memberikan kontribusi bagi para pembaca, khususnya dalam menjaga dan melestraikan lingkungan di planet Bumi.

Cirebon, Maret 2017

Djohar Maknun, S.Si., M.Si

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB I PENGERTIAN DAN RUANG LINGKUP EKOLOGI	1
A. Pengertian dan Ruang Lingkup Ekologi	1
B. Pembagian Ekologi	4
BAB II KONSEP POPULASI	7
A. Sifat-sifat Kelompok Populasi	7
B. Kepadatan Populasi dan Indeks Jumlah Relatif	7
C. Pola Pertumbuhan Populasi dan Konsep Daya Dukung	15
D. Penyebaran Populasi	17
E. Tipe Interaksi antar-Spesies	20
BAB III KONSEP KOMUNITAS	23
A. Konsep Komunitas dan Dominan Ekologi	23
B. Pola dalam Komunitas	31
C. Ekotones dan Konsep Efek Tepi	33
D. Struktur Komunitas	34
E. Interaksi dalam Komunitas	35
BAB IV KONSEP EKOSISTEM	39
A. Konsep Ekosistem	40

B. Perubahan Ekosistem dan Dampak Lingkungan	52
C. Pengendalian Secara Biologi Lingkungan Kimia	55
D. Produksi dan Dekomposisi di Alam	55
E. Homeostasis Ekosistem	57
BAB V KONSEP ENERGI DALAM EKOSISTEM	59
A. Pengertian dan Lingkungan Energi	60
B. Konsep Produktivitas	61
C. Rantai Makanan, Jaring makanan dan Tingkatan Trofik	67
D. Metabolisme dan Ukuran Organisme	70
E. Struktur Jenjang Makanan dan Piramida Makanan	71
BAB VI KONSEP DAUR BIOGEOKIMIA	81
A. Pengertian Daur Biogeokimia	81
B. Tipe-tipe Dasar dan Pola-pola Daur Biogeokimia	90
C. Pengkajian Kuantitatif Daur Biogeokimia	91
BAB VII SPESIES DAN INDIVIDU DALAM EKOSISTEM	93
A. Konsep Habitat dan Relung Ekologi	94
B. Ekuivalen Ekoogi(Ekologi Equivalen)	98
C. Penggantian Sifat(Character Display)	99
D. Penggantian Sifat : Simpatry dan Allopatry	100
E. Seleksi Buatan	101
F. Jam Biologi	102
G. Pola Dasar Tingkah Laku	104

BAB VIII SUKSESI	109
A. Suksesi Ekologi	109
B. Konsep Klimaks	116
C. Ekosistem Lestari	118
BAB IX FAKTOR PEMBATAS DAN FAKTOR FISIK LINGKUNGAN	121
A. Asas-asas Faktor Lingkungan	122
B. Hukum Minimum Leibig	123
C. Hukum Toleransi Shelford	125
D. Konsep Gabungan Mengenai Faktor Pembatas	128
E. Syarat Keberadaan sebagai Faktor Pengatur	129
F. Tinjauan Singkat Faktor Fisik sebagai Faktor Pembatas	131
G. Indikator Ekologi	141
BAB X EKOLOGI AIR TAWAR	145
A. Ekosistem Air Tawar	145
B. Klasifikasi Organisme Ekosistem air Tawar	146
C. Macam-macam Ekosistem Air Tawar	147
D. Perbaikan Ekosistem dan Dampak Lingkungan	154
BAB XI EKOLOGI DARATAN	157
A. Lingkungan Daratan	157
B. Biota Daratan dan Daerah Biogeografi	158
C. Struktur Umum dan Komunitas Daratan	160
D. SubssitemTanah	166
E. Gua	172

BAB XII EKOLOGI ESTUARIA	175
A. Definisi dan Tipe Estuaria	177
B. Karakteristik Fisik Estuaria	182
C. Aspek Biologi, Komposisi Biota dan Produktivitas Estuaria.....	185
D. Habitat Estuaria	187
E. Jaring Makanan di Estuaria	188
F. Peran Ekologi di Estuaria	190
BAB XIII EKOLOGI LAUT	193
A. Lingkungan Laut	193
B. Ekosistem Laut	195
C. Permasalahan Ekologi Laut	223
BAB XIV EKOLOGI KAMPUS	225
A. Kampus Hijau Asri, Islami dan Ilmiah	226
B. Penciptaan Kampus yang Hijau, Asri, Islami dan Ilmiah	229
C. Pendekatan Ekologi untuk Kampus Hijau, Asri, Islami dan Ilmiah	231
D. Revitalisasi Nilai-nilai Agama dalam Mewujudkan Eko-religi.....	234
DAFTAR PUSTAKA	241
SEKILAS PENULIS	243



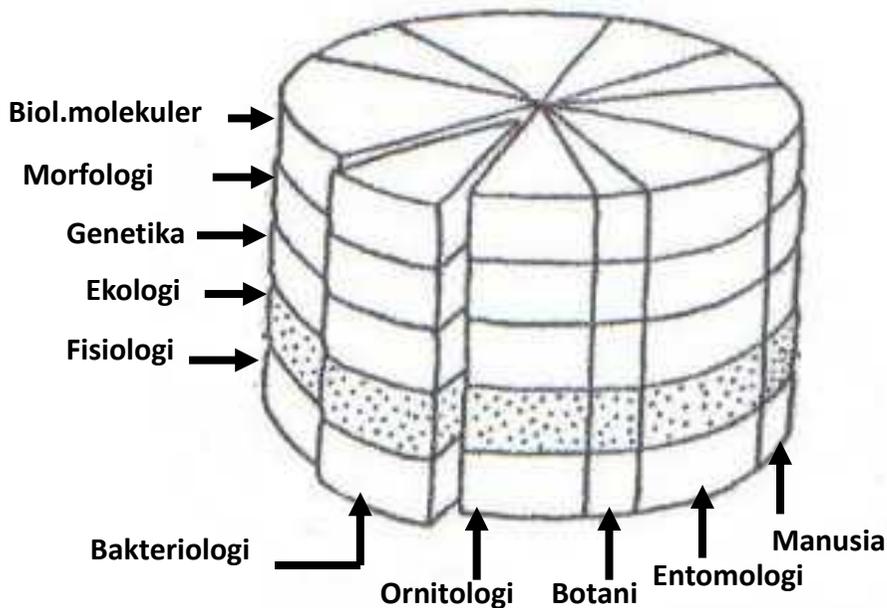
BAB I

PENGERTIAN DAN RUANG LINGKUP EKOLOGI

A. PENGERTIAN DAN RUANG LINGKUP EKOLOGI

Istilah ekologi berasal dari kata dalam bahasa Yunani yaitu *oikos* dan *logos*. Istilah ini mula-mula diperkenalkan oleh Ernst Haeckel pada tahun 1869. Ekologi berasal dari kata Yunani *oikos*, yang berarti rumah dan *logos*, yang berarti ilmu/ pengetahuan. Jadi, ekologi adalah ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik (interaksi) antara organisme dengan alam sekitar atau lingkungannya.

Jauh sebelumnya, studi dalam bidang-bidang yang sekarang termasuk dalam ruang lingkup ekologi telah dilakukan oleh para pakar. Ekologi merupakan cabang biologi, dan merupakan bagian dasar dari biologi (Gambar 1.1). Ruang lingkup ekologi meliputi populasi, komunitas, ekosistem, hingga biosfer. Studi-studi ekologi dikelompokkan ke dalam *autekologi* dan *sinekologi*. Sebagai bagian dari cabang biologi, ekologi pun terkait dengan disiplin ilmu lainnya dalam biologi, seperti morfologi, fisiologi, evolusi, genetika, zoologi, botani, biologi molekuler dan entomologi .



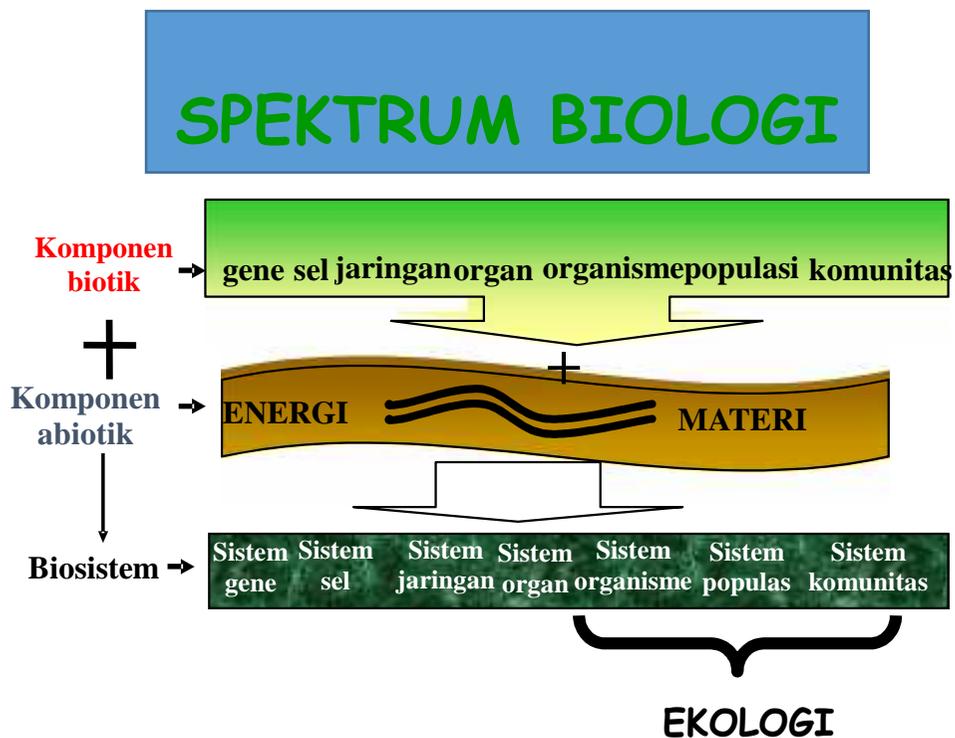
Gambar 1.1. Kue lapis biologi

Ekologi berkembang seiring dengan perkembangan ilmu dan teknologi. Perkembangan ekologi tak lepas dari perkembangan ilmu yang lain. Misalnya, berkembangnya ilmu komputer sangat membantu perkembangan ekologi. Penggunaan model-model matematika dalam ekologi misalnya, tidak lepas dari perkembangan matematika dan ilmu komputer.

Populasi ialah organisme satu spesies yang mendiami suatu tempat. Komunitas adalah kumpulan spesies organisme yang mendiami suatu tempat. Komunitas beserta lingkungan abiotik membentuk sistem ekologi yang disebut ekosistem. Komunitas pada acuan dari Eropa dan Rusia disebut *biocoenosis*, sedangkan

ekosistem dikenal dengan sebutan *biogeocoenosis*. Biosfir atau ekosfir mencakup semua organisme di bumi yang berinteraksi dengan lingkungan fisik.

Ditinjau dari tingkat spektrum organisasi, bidang ekologi, makin kearah kanan makin rumit, tetapi dalam beberapa hal kurang rumit dan kurang beragam karena adanya homeostatik (Gambar 1.2). Contoh: fotosintesis komunitas kurang beragam fluktuasinya dibandingkan dengan fotosintesis antar organisme.



Gambar 1.2. Tingkat spektrum organisasi

Ada pendapat bahwa tidak ada gunanya mempelajari tingkat populasi atau komunitas apabila tingkat yang kecil (sel-jaringan-

organ-organisme-spesies-dst) belum dikuasai. Pendapat ini banyak dianut. Tetapi dalam kenyataannya tidak semua sifat pada tingkat yang lebih tinggi dapat diduga apabila diketahui sifat tingkat bawah. Contoh : sifat air (H_2O) tidak dapat diduga dari sifat H_2 dan O_2 .

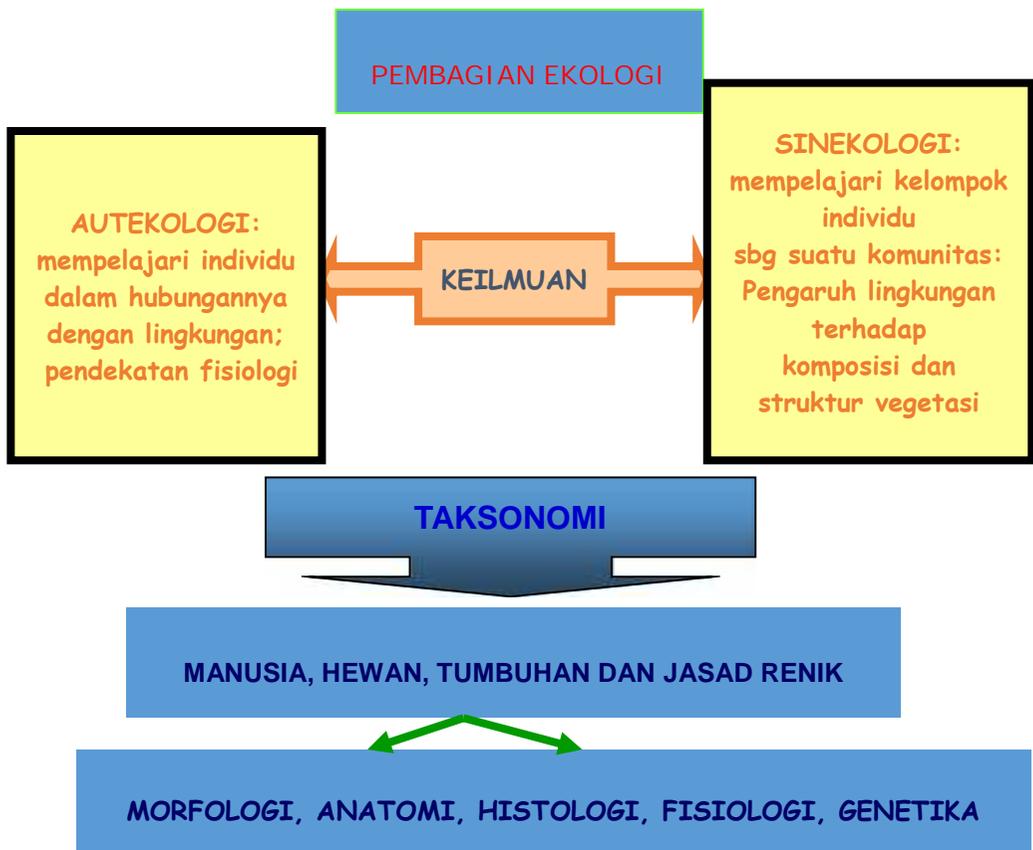
Juga sifat ekosistem tidak dapat diduga hanya dari sifat populasi secara terpisah-pisah. Fieblemanm (1954) menamakan penyamarataan ini dengan teori tingkat-tingkat integratif.

B. PEMBAGIAN EKOLOGI

Secara umum asas integratif fungsional yang meliputi pertumbuhan sifat-sifat dengan naiknya kompleksitas struktur merupakan suatu hal yang sangat penting dalam ekologi.

1). Berdasarkan keilmuan:

- Sinekologi : mempelajari hubungan satu spesies organisme dengan alam sekitarnya
- Outekologi : mempelajari hubungan sekelompok spesies organisme dengan alam sekitarnya



Gambar 1.3. Pembagian ekologi

2). Berdasarkan taksonomi:

- Ekologi manusia
- Ekologi tumbuhan
- Ekologi hewan
- Ekologi mikrobia

3). Berdasarkan keperluan praktis:

- Ekologi air tawar
- Ekologi laut
- Ekologi daratan

Ada pula yang membedakan antara ilmu lingkungan dan ekologi.

EKOLOGI (ECOLOGY)

**ILMU MURNI: MEMBAHAS TEORI, KONSEP DAN KAJIDAH HUBUNGAN
TIMBAL BALIK ANTARA ORGANISME DAN LINGKUNGAN**

**ILMU LINGKUNGAN
(ENVIRONMENT SCIENCE)**

**ILMU TERAPAN: PENERAPAN TEORI,
KONSEP DAN KAJIDAH EKOLOGI
DALAM PENGELOLAAN LINGKUNGAN**



BAB II PENGERTIAN DAN KONSEP-KONSEP POPULASI

A. SIFAT-SIFAT KELOMPOK POPULASI

Populasi adalah sekelompok organisme satu spesies yang mendiami suatu tempat, memiliki ciri atau sifat khusus populasi/kelompok dan bukan ciri individu. Ciri-ciri tersebut antara lain: kerapatan, natalis (angka kelahiran), mortalitas (angka kematian), penyebaran umur, potensi biotik, dispersi, pertumbuhan dan perkembangan.

B. KEPADATAN POPULASI DAN INDEKS JUMLAH RELATIF

Kepadatan Populasi ialah besarnya populasi dalam hubungannya dengan suatu unit/satuan ruangan. Umumnya dinyatakan dalam jumlah individu atau biomassa populasi per satuan area atau volume, misalnya 200 pohon/Ha, 5 juta diatome/m³. Perhitungan jumlah terlalu memperhatikan arti organisme kecil, sedangkan biomassa terlalu memperhatikan arti organisme besar, sedangkan komponen arus energi memberikan indeks yang lebih baik untuk membandingkan populasi mana saja dalam ekosistem.

Dalam praktek seringkali lebih penting mengetahui apakah suatu populasi (berubah/berkembang) daripada mengetahui jumlah

populasi pada suatu saat. Dalam hal ini indeks jumlah relatif (*index abundance relative*) bermanfaat dalam hubungannya dengan waktu misalnya jumlah burung yang terlihat setiap jam.

Kesukaran untuk mengukur kepadatan populasi ialah organisme tidak tersebar merata, akan tetapi tersebar tidak merata atau berkeompok, oleh karena itu dalam mengambil sampel penelitian kepadatan populasi harus hati-hati.

1. Konsep Dasar Tentang Laju (Rates)

Karena populasi merupakan kesatuan yang *selalu berubah*, kita tidak hanya tertarik pada ukuran dan komposisi pada suatu saat, tetapi juga bagaimana populasi berubah.

Beberapa sifat khas penting yang berkaitan dengan perubahan populasi ialah laju (*rates*). Suatu laju didapat dengan membagi perubahan dengan periode waktu berlangsungnya perubahan. Jumlah kelahiran per tahun = laju kelahiran (*birth rates*). Terminologi laju/*rates* tersebut menunjukkan kecepatan perubahan sesuatu pada suatu waktu.

2. Natalitas Angka Kelahiran

Natalitas merupakan kemampuan populasi untuk tumbuh. Laju Natalitas, laju kelahiran/*birth rate* pada demografi diperoleh dengan kelahiran menetas, atau berkecambah, dan sebagainya.

Natalitas ekologi atau *natalitas sebenarnya* atau biasa hanya disebut natalitas adalah kenaikan populasi dalam keadaan sebenarnya. Harga tidak tetap bergantung pada lingkungan.

3. Mortalitas

Mortalitas adalah angka kematian dalam populasi. Laju mortalitas ialah *laju kematian* dalam demografi ialah jumlah individu yang mati pada suatu satuan waktu (= kematian per waktu).

Mortalitas ekologi yaitu mortalitas nyata/realita, yaitu jumlah individu yang mati dalam keadaan lingkungan yang sebenarnya, harganya tidak tetap tergantung pada keadaan lingkungan.

Mortalitas minimum (teoritis) adalah kehilangan individu dari populasi dalam keadaan lingkungan yang ideal dan harganya tetap.

Sering kali laju kehidupan/*survival rate* lebih menarik dari pada laju kematian. Jika laju kematian = M , maka *survival rate* = $1 - M$.

Karena kita sering lebih tertarik pada organisme hidup dari pada organisme mati, maka sering lebih berarti jika kita menyatakan laju mortalitas dalam kebalikannya, yaitu dengan menyatakan *survival rate*.

4. Penyebaran Umur Populasi

Penyebaran Umur merupakan sifat penting dari populasi karena dapat mempengaruhi mortalitas dan natalitas. Perbandingan berbagai golongan umur dalam populasi dapat menentukan keadaan reproduktif yang berlangsung dalam

populasi dan dapat dipakai untuk memperkirakan keadaan populasi masa depan.

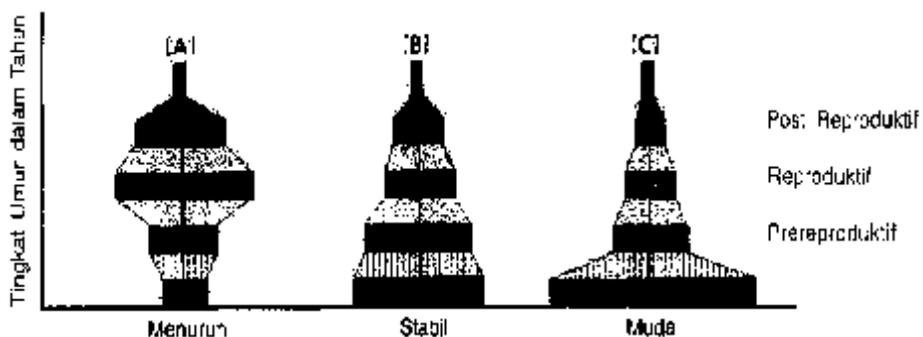
Populasi yang sedang berkembang cepat mengandung sebagian besar individu muda, sedangkan populasi stasioner pembagian umur lebih merata dan populasi yang sedang menurun sebagian besar individu berumur tua. Pada penyebaran populasi yang sudah mantap, adanya kelahiran/kematian yang luar biasa akan mengakibatkan perubahan sementara dalam populasi yang kemudian kembali ke keadaan yang mantap.

Menurut Bodenheimer (1939) dalam populasi terdapat 3 kelompok umur ekologis, yaitu :

1. pre-reproduktif
2. reproduktif
3. post-reproduktif

Secara relatif panjang umur ekologis ini dibanding dengan panjang umur sangat beraneka ragam.

Pada manusia modern ketiga unsur ini kurang lebih sama panjangnya, pada manusia primitif, post-reproduktif pendek. Pada beberapa hewan (serangga) dan tanaman pre-reproduktif sangat lama, reproduktif pendek dan post-reproduktif tidak ada.



Gambar 2.1. Piramida umur teoretik menunjukkan persentase tinggi ukuran populasi rendah, medium dan tinggi. Tingkat umur dikelompokkan menjadi belum matang (prereproduktif), *fecound* (reproduktif), dan *nonfecound* (post produktif).

5. Laju Intrinsik dari Kenaikan Alami

Apabila keadaan lingkungan tidak terbatas (ruang, makanan, dan organisme tidak mempunyai kendala) maka laju pertumbuhan spesifik (yaitu laju pertumbuhan per individu) menjadi konstan dan maksimum, serta karakteristik untuk struktur umum populasi tertentu dan merupakan indeks tunggal untuk kekuatan pertumbuhan populasi dinyatakan dengan r .

$$dN/dt = r.N$$

$$r = dN/N.dt$$

parameter r dapat dianggap sebagai koefisien pertumbuhan populasi pada suatu saat. Bentuk integrasi eksponensial secara otomatis diikuti oleh manipulasi kalkulus :

$$N_t = N_0.e^{r.t}$$

di mana :

$$N_0 = \text{jumlah pada waktu nol}$$

$$N_t = \text{jumlah pada waktu } t$$

$$e = \text{angka dasar logaritma}$$

dengan mengambil logaritma ($\ln = \log e$) dari kedua pihak pada persamaan di atas didapatkan persamaan :

$$\ln N_t = \ln N_0 + r.t$$

$$r = \frac{\ln N_o + r.t}{t}$$

$$N = \frac{\ln N_{t_2} - \ln N_{t_1}}{t_2 - t_1}$$

Sebetulnya indeks r adalah selisih antara natalitas spesifik pada suatu saat (yaitu laju per individu perwaktu) dan laju kematian spesifik pada suatu saat :

$$r = b - d$$

laju pertumbuhan populasi secara keseluruhan pada keadaan lingkungan tidak terbatas (r) tergantung pada :

1. komposisi umur
2. laju pertumbuhan spesifik yang berkaitan dengan reproduksi komponen kelompok umur.

6. Fluktuasi Populasi dan Ayunan (isolasi) Siklik

Apabila populasi telah menyelesaikan pertumbuhannya, N/t rata-rata sama dengan nol, kepadatan populasi cenderung berfluktuasi di atas dan di bawah tingkat atas asimtot atau daya dukung.

Fluktuasi ini merupakan hasil dari perubahan dalam lingkungan fisik atau interaksi dalam populasi atau keduanya atau antarpopulasi. Karena itu fluktuasi dapat terjadi meskipun keadaan lingkungan tetap misalnya dalam laboratorium.

Di alam perlu dibedakan :

- a. Perubahan ukuran populasi musiman yang sebagian besar dipengaruhi oleh adaptasi sejarah kehidupan bersama-sama dengan perubahan faktor lingkungan.
- b. Fluktuasi tahunan (*annual*).

Fluktuasi (ayunan) tahunan ada dua macam :

- a. Fluktuasi yang dipengaruhi oleh perubahan faktor fisik lingkungan yang terjadi secara tahunan atau faktor ekstrinsik (yaitu faktor di luar interaksi dalam populasi).

Fluktuasi yang dipengaruhi oleh perbedaan faktor fisik lingkungan cenderung tidak teratur dan jelas berkaitan dengan variasi dari faktor fisik yang membatasi misalnya temperatur, curah hujan dan sebagainya.

- b. Fluktuasi yang terutama dipengaruhi oleh dinamika populasi atau faktor intrinsik (yaitu faktor dalam populasi). Fluktuasi jenis ini sering memperlihatkan keteraturan sehingga istilah "siklus/daur" adalah memadai. Fluktuasi tahunan akan hebat pada ekosistem yang relatif sederhana di mana komunitas hanya terdiri dari beberapa populasi misalnya populasi kutub, hutan buatan, dan sebagainya. Dapat dikatakan makin tua dan terorganisasi komunitas makin rendahlah fluktuasi populasi.

7. Pengaturan dan Pengendalian Populasi

Pada ekosistem dengan keanekaragaman rendah dan sedang mengalami tekanan fisik cenderung bergantung kepada komponen fisik misalnya cuaca, arus, pencemar, dan

sebagainya. Sedangkan pada ekosistem dengan keanekaragaman tinggi atau tidak mengalami tekanan fisik maka populasinya cenderung dikendalikan secara biologik.

Pada semua ekosistem terdapat kecenderungan yang kuat di mana populasi akan berkembang melalui seleksi alam dan menuju pengendalian diri.

Faktor-faktor ekologi yang berupa faktor pembatas yang merugikan maupun yang bukan faktor pembatas (faktor yang menguntungkan) atau faktor negatif maupun faktor positif terhadap populasi dapat tergolong faktor:

- a. *Density independent/density legislatif* atau *tidak bergantung* kepada kepadatan jika pengaruhnya atau efeknya tidak tergantung kepada besarnya populasi. Contoh : faktor iklim, angin ribut, penurunan temperatur yang drastis, faktor cahaya, dan sebagainya.
- b. *Density dependent* atau *bergantung kepadatan*, yaitu faktor ekologi yang pengaruh/efeknya terhadap populasi merupakan fungsi dari kepadatan/densitas populasi. Pengaruh faktor *density dependent* seperti pengatur mesin karena dapat merupakan alat utama untuk mencegah *over population* dan bertanggung jawab atas pencapaian keadaan seimbang (*steady state*).

Merupakan faktor *density dependent* ialah faktor-faktor biotik, misalnya kompetisi, parasitisme, pathogen, natalitas, mortalitas, dan sebagainya. Contoh *density dependent* ialah lalat

gulma dan parasitnya di mana persentase lalat gulma yang dibunuh parasit meningkat apabila populasi bertambah besar. Kadang-kadang keadaan populasi yang mantap dan dikacaukan oleh perubahan cuaca misalnya penurunan temperatur yang drastis yang dapat mengakibatkan menurunnya parasit serangga dan akibatnya populasi serangga akan naik dengan cepat dan terbentuk kurva bentuk J. Apabila terjadi keadaan yang demikian akan dapat mengakibatkan gundulnya pohon-pohon Eucalyptus sehingga serangga akan kekurangan makanan dan populasi serangga akan menurun kembali secara drastis. Penurunan populasi serangga dapat juga disebabkan karena naiknya populasi pemangsa akibatnya banyak serangga.

C. POLA PERTUMBUHAN POPULASI DAN KONSEP CARRING CAPACITY (DAYA DUKUNG)

Populasi mempunyai pola pertumbuhan yang khas, disebut bentuk pertumbuhan populasi.

Ada dua pola dasar pertumbuhan berdasar pada kurva pertumbuhan yaitu :

1. Kurva pertumbuhan bentuk J.
2. Kurva pertumbuhan bentuk S atau sigmoid.

Pola pertumbuhan populasi dapat berbentuk J atau S atau gabungan dari keduanya sesuai dengan kekhususan pertumbuhan populasi organisme dan lingkungannya.

Pada pola pertumbuhan bentuk J kepadatan naik dengan cepat secara eksponensial kemudian berhenti mendadak karena hambatan lingkungan atau faktor pembatas bekerja efektif secara mendadak.

Pada pola pertumbuhan populasi bentuk sigmoid populasi mula-mula naik secara lambat (*positive acceleration phase*) kemudian menjadi cepat (*logarithmic phase*) kemudian lambat kembali setelah hambatan lingkungan mulai bekerja (*negative acceleration phase*) dan akhirnya hampir seimbang.



Gambar 2.2. Pola daya dukung lingkungan

Batas atas di mana tidak ada pertumbuhan lagi merupakan asimtot dari kurva sigmoid yang biasa disebut daya dukung lingkungan (*carrying capacity*) atau daya tolang. Pada pola pertumbuhan bentuk J tidak terdapat tingkat keseimbangan akan tetapi batas N merupakan batas atas yang ditentukan oleh lingkungan.

D. PENYEBARAN POPULASI

Penyebaran populasi ialah pindahnya individu atau keturunan (biji, spora, larva) keluar dari populasi atau daerah populasi. Ada tiga pola penyebaran populasi :

- a. Emigrasi : gerakan keluar satu arah
- b. Immigrasi : gerakan masuk satu arah
- c. Migrasi : perpindahan keluar-masuk secara periodik

Pengaruh penyebaran pada populasi akan :

- a. Kecil, apabila individu yang masuk/keluar populasi sedikit atau populasinya besar.
- b. Besar, apabila penyebaran yang terjadi secara massal (sangat besar jumlahnya) dan terjadi dalam waktu yang pendek.

Penyebaran populasi dipengaruhi oleh :

1. Barrier, misalnya : sungai, gunung, lembah, dan sebagainya.
2. Vitalitas atau kemampuan gerak organisme umumnya organisme dengan vitalitas tinggi akan memudahkan penyebaran, misalnya burung, serangga.

Penyebaran merupakan sarana di mana daerah baru dan kosong yang semula tidak dihuni akan menjadi dihuni sehingga terbentuk suatu keseimbangan baru disamping itu penyebaran juga penting untuk gene flow dan pembentukan spesies baru.

Penyebaran organisme kecil yang terjadi secara pasif umumnya mengikuti pola eksponensial artinya kepadatan populasi menurun dengan jumlah yang sama untuk kelipatan yang sama dari jarak sumbernya. Penyebaran organisme besar dan aktif menyimpang dari pola tersebut.

Pengaruh penyebaran terhadap populasi tergantung kepada :

- a. Status bentuk pertumbuhan populasi, apakah populasi berada dekat/jauh dari *carrying capacity* (daya dukung), sedang tumbuh atau sedang menurun.
- b. Kecepatan penyebaran dan ini dipengaruhi oleh barier dan vitalitas organisme.

Apabila populasi dalam keadaan seimbang dengan faktor lingkungannya, maka migrasi atau emigrasi yang moderat hanya berpengaruh kecil terhadap populasi, akan tetapi apabila populasi berada di atas atau di bawah daya dukung penyebaran akan berpengaruh lebih nyata misalnya emigrasi akan mempercepat pertumbuhan populasi atau sebaliknya emigrasi akan mempercepat pemusnahan.

Migrasi sering melibatkan perpindahan masa populasi (burung, belalang). Ini sering dilakukan oleh golongan vertebrata dan insekta. Migrasi musiman dan diurnal (siang dan malam) penting untuk :

- a. Menempati daerah yang kosong
- b. Memungkinkan organisme mempertahankan kepadatan optimum dan kativitas tinggi.

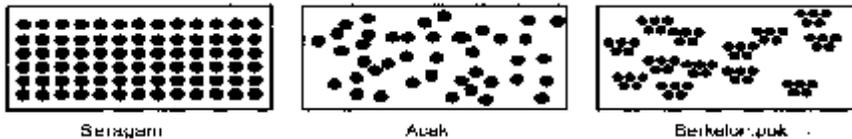
Populasi yang tidak dapat melakukan migrasi sering harus mengalami penurunan kepadatan populasi atau mnegadakan *dormancy* (istirahat) pada keadaan yang kurang menguntungkan.

1. Pola Populasi : Pola Penyebaran Intern (Dispersi)

Individu dalam populasi dapat tersebar menurut tiga pola :

- a. Acak

- b. Seragam (lebih teratur daripada acak)
- c. Berkelompok (tak teratur, tidak acak)



Gambar 2.3. Pola penyebaran populasi

Penyebaran secara acak jarang terjadi di alam dan dapat terjadi apabila lingkungan sangat seragam dan tidak ada kecenderungan untuk berkelompok.

Penyebaran seragam (uniform) terjadi apabila kompetisi antar individu sangat hebat atau ada anatagonisme positif yang mendorong pembagian ruang yang sama.

Berkelompok dengan bermacam derajat merupakan pola yang paling umum dalam populasi dan hampir merupakan aturan apabila dipandang dari sudut individu. Akan tetapi harap diperhatikan bahwa penyebaran kelompok mendekati acak.

Dari tiga pola dasar penyebaran organisme dapat disusun 5 (lima) tipe penyebaran:

- a. Seragam (uniform)
- b. Acak (random)
- c. Acak bergerombol/berkelompok
- d. Seragam bergerombol/berkelompok
- e. Berkelompok berkumpul

Pengambilan sampel populasi untuk ketiga pola terakhir harus dilakukan secara hati-hati karena dapat memberikan hasil yang sangat berbeda. Contoh kecil dari populasi dengan penyebaran berkelompok dapat memberi hasil dengan kepadatan yang terlalu tinggi atau terlalu rendah.

Kecenderungan organisme untuk berkelompok misalnya waktu berbiak, membentuk koloni (semut, rayap). Sontoh populasi acak ialah kutu beras, remis dalam lumpur hal ini terjadi karena lingkungan sangat homogen.

E. TIPE INTERAKSI ANTARA DUA SPESIES

1. *Interaksi Negatif: Kompetisi Interspesifik*

Kompetisi Interspesifik adalah segala interaksi antara dua atau lebih populasi spesies yang dapat mempengaruhi pertumbuhan dan kehidupan populasi.

Kecenderungan untuk bersaing menyebabkan timbulnya pemisahan secara ekologis dari jenis yang berdekatan atau spesies yang serupa, dan ini dikenal sebagai asas pengeluaran kompetisi (*competitive exclusion principle*). Kompetisi interspesifik dapat menghasilkan:

1. Penyesuaian keseimbangan antara kedua spesies;
2. Mengakibatkan penggantian populasi spesies satu dengan populasi spesies lain;
3. Memaksa pindah;
4. Memaksa menggunakan makanan jenis lain.

Tabel 2.1. Tipe interaksi antarspesies

No	Tipe interaksi	Spesies		Sifat umum interaksi
		I	II	
1.	Netralisme	0	0	Kedua populasi tidak saling mengganggu.
2.	Kompetisi: tipe gangguan langsung	-	-	Hambatan langsung terhadap kedua populasi.
3.	Kompetisi: tipe penggunaan sumber daya	-	-	Hambatan tak langsung, bila sumber daya menurun.
4.	Amensalisme	-	0	Populasi I terhambat, populasi II tak terhambat.
5.	Parasitisme	+	-	Populasi I parasit, umumnya lebih kecil populasi II (hospes).
6.	Predasi	+	-	Populasi I predator, umumnya lebih besar (hospes) tidak terganggu.
7.	Komensalisme	+	0	Populasi I komensal untung, populasi II (hospes) tidak terganggu.
8.	Protokooperasi	+	+	Interaksi menguntungkan keduanya, tetapi tidak saling tergantung.
9.	Mutualisme	+	+	Kedua populasi saling untung dan keduanya saling bergantung, kerjasama merupakan kewajiban.

Di alam spesies yang dekat kekerabatannya atau yang mempunyai kepentingan yang sama, umumnya menempati daerah geografi yang berbeda atau mempunyai kegiatan harian yang tidak sama, hal ini dimaksudkan untuk mengurangi besarnya kompetisi. Interaksi bersifat kompetitif dapat mengakibatkan perubahan morfologi, bentuk paruh, ukuran tubuh (melalui seleksi alam) dan ini dapat mempercepat pemisahan secara ekologis.

Pulau merupakan tempat yang baik untuk mengamati kecenderungan pemilihan habitat yang lebih Was jika persaingan *inter-*

spesifik (antar populasi) berkurang, akibatnya persaingan intraspesifik (dalam populasi dari satu spesies) akan menonjol dan populasi spesies cenderung untuk tersebar.

2. Interaksi Negatif: Predasi, Parasitisme, dan Antibiosis

Predasi dan parasitisme adalah contoh interaksi antara dua populasi yang mempunyai efek negative pada pertumbuhan dan kehidupan pada salah satu populasi. Hasil yang sama terjadi jika satu populasi menghasilkan zat yang merugikan populasi lainnya. Interaksi ini dikenal dengan antibiosis.

Pengaruh negatif tersebut cenderung berkurang pada populasi yang telah berinteraksi dalam jangka lama dan pada ekosistem yang mantap dengan demikian spesies yang satu tidak memusnahkan yang lain.

Pemusnahan dapat terjadi pada ekosistem yang baru dan belum mantap, misalnya ada perubahan yang mendadak karena ulah manusia. Ini dapat menjurus ke arah apa yang dikenal dengan prinsip pathogen mendadak (*principle of instant pathogen*), yang menjelaskan mengapa perbuatan manusia sering menjurus ke masalah epidemik (wabah).

Pemangsa dan parasit memang menekan laju pertumbuhan populasi, tetapi apakah populasi akan lebih baik tanpa pemangsa dan parasit. Predator dan populasi memainkan peranan dalam menahan peledakan populasi, misalnya populasi serangga, burung, dan sebagainya, untuk tidak menjadi *over population*.

Peledakan populasi dapat terjadi jika suatu spesies dimasukkan ke dalam suatu daerah yang baru, di mana terdapat sumber-sumber yang belum dieksploitir oleh manusia dan tidak ada interaksi negative (misalnya predator).

3. Interaksi Positif: Komensalisme, Kooperasi, Mutualisme

Interaksi dua populasi spesies yang berpengaruh positif banyak terdapat dan sama pentingnya dengan kompetensi dan parasitisme dalam menentukan sifat populasi dan komunitas. Secara evolusi interaksi positif dimulai dengan komensalisme (+0) yang kemudian berkembang menjadi mutualisme (++) di mana kedua spesies saling bergantung.

Umumnya interaksi positif kurang mendapat perhatian dibanding dengan interaksi negatif meskipun keduanya sama penting.

Komensalisme merupakan tipe sederhana dari interaksi positif dan mungkin merupakan langkah awal menuju ke hubungan saling menguntungkan (epifit, anemon pada kerang).

Pada ekosistem yang tua, mutualisme akan mengatur parasitisme dan ini merupakan hal penting apabila beberapa aspek dari lingkungan dalam keadaan limit, dalam hal ini kooperasi sangat menguntungkan.

Simbiosis obligat antara mikroorganisme pencerna selulosa dan hewan, penting untuk rantai makanan detritus. Pada simbiosis rayap dengan flagelata (*ordo hypermastigina*), rayap akan mati tanpa kerjasama dengan flagelata, karena rayap tidak dapat mencerna selulosa sehingga akhirnya akan kelaparan. Koordinasi antara rayap

dan flagelata (*spirotrichonimpha bispira*) sangat baik, misalnya flagelata tanggap terhadap hormone ganti kulit inangnya, yaitu waktu rayap ganti kulit (pengaruh hormon), flagelata akan membentuk cyste, sehingga akan menjamin transmisi dan reinfeksi setelah ganti kulit.



BAB III PENGERTIAN DAN KONSEP-KONSEP KOMUNITAS

Komunitas merupakan konsep penting karena di alam berbagai jenis organisme hidup bersama dalam suatu aturan dan tidak tersebar begitu saja dan apa yang dialami oleh komunitas akan dialami juga oleh organisme. Jadi untuk memusnahkan suatu organisme kita dapat lakukan dengan mengubah komunitasnya. Misalnya nyamuk dapat dikendalikan dengan efisien dan murah dengan jalan mengubah komunitas perairan, yaitu dengan menaikkan dan menurunkan permukaan air dan arus. Pengendalian gulma yang ada di tepi jalan bukan dengan jalan pembersihan jalan dengan pembajakan/pencangkulan, tetapi dapat dengan jalan pengembangan vegetasi yang mantap dimana gulma kalah bersaing.

A. KONSEP KOMUNITAS DAN DOMINAN EKOLOGI

Dalam ekologi terdapat suatu kumpulan populasi yang disebut dengan komunitas, dimana Komunitas ialah kumpulan dari berbagai populasi yang hidup pada suatu waktu dan daerah tertentu yang saling berinteraksi dan mempengaruhi satu sama lain. Komunitas memiliki derajat keterpaduan yang lebih kompleks bila dibandingkan dengan individu dan populasi.

Nama komunitas harus dapat memberikan keterangan mengenai sifat-sifat komunitas tersebut. Cara yang paling sederhana, memberi nama itu dengan menggunakan kata-kata yang dapat menunjukkan bagaimana wujud komunitas seperti padang rumput, padang pasir, hutan jati

Terdapat beberapa asas-asas yang berperan dalam organisasi pada taraf komunitas. Komunitas biotik merupakan kumpulan populasi yang menempati suatu habitat dan terorganisasi sedemikian rupa sehingga memperlihatkan sifat tambahan dari sifat individu dan populasi sebagai suatu kesatuan misalnya struktur jenjang makanan dan arus energi.

Komunitas mayor/utama adalah komunitas besar yang tidak bergantung kepada komunitas lain yang ada di dekatnya. *Komunitas minor* adalah komunitas yang masih bergantung pada komunitas lain di sekitarnya.

Cara yang paling baik untuk menamakan komunitas itu adalah dengan mengambil beberapa sifat yang jelas dan mantap, baik hidup maupun tidak. Pemberian nama komunitas dapat berdasarkan :

1. Bentuk atau struktur utama seperti jenis dominan, bentuk hidup atau indikator lainnya seperti hutan pinus, hutan agathis, hutan jati, atau hutan Dipterocarpaceae, dapat juga berdasarkan sifat tumbuhan dominan seperti hutan sklerofil.
2. Berdasarkan habitat fisik dari komunitas, seperti komunitas hampan lumpur, komunitas pantai pasir, komunitas lautan, dll.

3. Berdasarkan sifat-sifat atau tanda-tanda fungsional misalnya tipe metabolisme komunitas. Berdasarkan sifat lingkungan alam seperti iklim, misalnya terdapat di daerah tropik dengan curah hujan yang terbagi rata sepanjang tahun, maka disebut hutan hujan tropik.

Di alam terdapat bermacam-macam komunitas yang secara garis besar dapat dibagi dalam dua bagian yaitu:

1. Komunitas akuatik .

Komunitas ini misalnya yang terdapat di laut, di danau, di sungai, di parit atau di kolam.

2. Komunitas terrestrial.

Yaitu kelompok organisme yang terdapat di pekarangan , di hutan, di padang rumput, di padang pasir, dll.

Tidak semua organisme dalam komunitas sama pentingnya dalam menentukan keadaan alamiah dan fungsi dari seluruh komunitas. Dari ratusan/ribuan jenis organisme yang terdapat dalam komunitas hanya beberapa jenis species yang berperan penting sebagai pengendali komunitas berdasarkan atas jumlah, ukuran, produksi, atau aktivitasnya.

Peranan populasi secara relatif/nisbi dalam komunitas tidak ditunjukkan oleh hubungan taksonomi dari spesies karena organisme pengendali atau penguasa sering mempunyai takson yang sangat bervariasi.

Karena itu klasifikasi intrakomunitas tidak sama dengan sistem taksonomi flora dan fauna tetapi taksonominya berdasarkan atas peranan spesies organisme dalam komunitasnya.

Sistem klasifikasi yang logis dalam pandangan ini ialah berdasarkan kepada jenjang makanan (*trophic level*) atau jenjang fungsi. Komunitas (sebagian besar) terdiri dari produsen, makrokonsumen, dan mikrokonsumen. Golongan spesies yang mengendalikan sebagian besar arus energi dan mempunyai pengaruh besar terhadap lingkungan dan species lain dikatakan mempunyai dominasi ekologis. (*ecological dominant*)

Derajat pemusatan dominasi pada satu atau beberapa spesies dinyatakan dalam *indek dominasi* yang menunjukkan banyaknya peranan spesies organisme dalam hubungannya dengan komunitas secara keseluruhan.

Masalah klasifikasi dalam komunitas biotik dapat dijelaskan dengan contoh yang disederhanakan sebagai berikut :

Rumput jampang	48 Ha
Pohon pisang	2 Ha
Harendong	2 Ha
Sapi	32 ekor
Ayam	16 ekor
Kalkun	2 ekor
Domba	1 ekor
Kuda	1 ekor

Kesimpulan dari pengamatan adalah sebagai berikut : produsen yang dominan adalah rumput jampang, sedangkan konsumen yang dominan adalah sapi. Jadi komunitas tadi merupakan daerah penggembalaan. Gambaran lebih lengkap akan diperoleh jika kita menanyakan mengenai penggunaan musiman dari daerah tersebut.

Jika pada suatu komunitas jenis yang dominan dihilangkan maka akan menimbulkan pengaruh yang besar pada komunitas biotik maupun abiotik (iklim mikro). Jika spesies yang tidak dominan dihilangkan pengaruhnya tidak akan sebesar spesies yang dominan. Umumnya spesies dominan merupakan spesies dengan produktivitas besar. Untuk organisme kecil biomassa dapat dipakai sebagai indikator dominansi.

Di daratan, spermatophyta dominan tidak hanya diantara ototrof, tetapi juga dalam komunitas karena memberi perlindungan terhadap organisme lainnya dan padat memodifikasi faktor fisik dengan banyak cara.

Beberapa indeks yang penting dalam komunitas adalah :

1. Indeks kelimpahan (*dominansi indeks*)

Indeks dominansi menggambarkan komposisi jenis dalam komunitas

$$D_i = \frac{n_i}{N} \times 1000 \text{ atau } D = \sum_{i=1}^n \left[\frac{n_i}{N} \right]^2$$

dimana :

D_i = indeks dominansi

n_i = jumlah individu jenis binatang i

N = jumlah total individu binatang dalam habitat itu

Dalam suatu habitat suatu spesies binatang dikatakan dominan jika $D_i > 5\%$, dan dikatakan subdominan jika $2\% < D_i < 5\%$.

2. Indeks Keanekaragaman (*deversity indeks*)

Keanekaragaman komunitas ditandai oleh banyaknya spesies organisme yang membentuk komunitas tersebut. Semakin banyak jumlah spesies semakin tinggi keanekaragamannya.

Indeks keanekaragaman menunjukkan hubungan antara jumlah spesies dengan jumlah individu yang menyusun suatu komunitas.

$$H^i = - \sum \left\{ \frac{n_i}{N} \log e \left(\frac{n_i}{N} \right) \right\}$$

dimana :

H^i = indeks keanekaragaman Shannon Weaver

n_i = jumlah individu jenis i

N = jumlah total individu

3. Indeks Kesamaan

Indeks ini digunakan untuk membandingkan kesamaan spesies organisme yang ditemukan pada suatu habitat dengan habitat yang lain atau membandingkan kesamaan spesies yang ditemukan pada suatu musim dan musim yang lain

$$S_s = \frac{2 \cdot C}{A + B}$$

dimana :

S_s = indeks kesamaan Sorensen

A = jumlah spesies pada habitat A

B = jumlah spesies pada habitat B

C = jumlah pasangan spesies yang dijumpai di habitat A dan B

Dengan dasar jumlah individu dapat pula ditentukan indeks kesamaan dua habitat:

$$I_{SE} = \frac{M_c : 2}{M_a + M_b + (M_c : 2)} \times 100 \%$$

dimana :

I_{SE} = indeks kesamaan Elenberg

M_a = jumlah individu pada habitat A

M_b = jumlah individu pada habitat B

M_c = jumlah pasangan individu pada habitat A dan B

Harga H' dan D_i besarnya berlawanan karena harga H' yang besar menyatakan dominansi yang rendah. Kesimpulan keanekaragaman yang tinggi menyatakan rantai makanan yang panjang dan banyak simbiose (mutualisme, parasitisme, komensal, dan lain-lain) sehingga mengurangi guncangan-guncangan akibatnya rantai makanan menjadi lebih mantap.

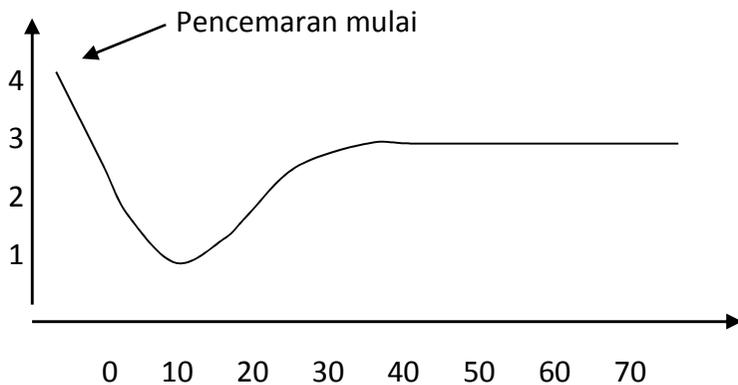
Komunitas dengan keanekaragaman tinggi misalnya hutan hujan akan lebih mantap terhadap gangguan iklim/lingkungan.

Keanekaragaman cenderung meningkat pada komunitas yang telah tua dan keanekaragaman rendah pada komunitas yang baru terbentuk. Produktivitas dipengaruhi oleh keanekaragaman spesies tetapi hubungannya tidak linier. Komunitas dengan produktivitas tinggi dapat mempunyai keanekaragaman tinggi (daerah batu karang) atau keanekaragaman jenis rendah (daerah muara sungai, daerah iklim sedang). Kemantapan/stabilitas lebih terkait dengan keanekaragaman dibanding dengan produktivitas.

Ternyata keanekaragaman spesies sangat dipengaruhi oleh tingkat jenjang makanan. Misalnya jumlah herbivora ataupun predator sangat mempengaruhi rumput atau komunitas yang dimangsa.

Pemangsaan yang sedang sering mengurangi kepadatan organisme dominan sehingga akan mengurangi kompetisi antar spesies sehingga memberi kesempatan lebih baik kepada spesies yang lain untuk mendapatkan tempat dan makanan sehingga keanekaragaman akan naik. Tetapi sebaliknya pemangsaan yang berat akan merupakan stress dan mengurangi jumlah spesies. Hal ini benar selama kompetisi dalam hal tempat besar/ tinggi.

Indeks keanekaragaman merupakan cara yang terbaik untuk mengetahui dan menilai adanya pencemaran.



Gambar 3.1. Perubahan indeks keanekaragaman Shannon dari Bentos pada aliran sungai waktu terjadi pencemaran (pencemaran domestik dan pabrik)

B. POLA DALAM KOMUNITAS

Yang dimaksud dengan pola (Hutchinson, 1953) ialah struktur yang diakibatkan oleh penyebaran organisme di dalam bidang lingkungannya dan interaksinya dengan lingkungan.

Beberapa macam pola diversitas dalam komunitas :

- a. Pola stratifikasi (lapisan tegak/vertical)
- b. Pola zonasi (pemisahan horizontal)
- c. Pola aktivasi (periodisitas)
- d. Pola jala makanan (food web)
- e. Pola reproduksi

- f. Pola sosial (kelompok dan kawan-an)
- g. Pola ko-aktif (hasil kompetisi, antibiosis, dan lain-lain)

Beberapa contoh pola dalam komunitas :

- Pola stratifikasi

Adanya dua lapisan dasar di hutan yaitu lapisan autotrofik dan heterotrofik. Lapisan vegetasi : lapisan semak, pohon tajuk bawah, tajuk atas. Lapisan pada hewan : pada distribusi serangga dan burung. Lapisan badan air : epilimnion, thermokline, dan hypolimnion juga ada stratifikasi pada ikan dan bentos

- Pola aktivitas (periodisitas)

Kebanyakan populasi dalam komunitas memperlihatkan periodisitas yang berhubungan dengan perubahan yang terjadi selama 24 jam (perubahan cahaya, temperatur, dan sebagainya).

Diel periodicity (periodisitas harian) adalah kejadian yang berulang dengan interval 24 jam atau kurang.

Circadian rythm (circadian = kira-kira satu hari) adalah perodisitas yang tetap, yang diatur oleh jam biologi (*biological clock*) yang berkaitan dengan pola daur siang malam.

Organisme *diurnal* aktif pada siang hari, organisme *nocturnal* aktif pada malam hari, dan organisme *crepuscular* aktif pada waktu remang-remang.

Contoh periodisitas harian pada habitat aquatik ialah migrasi vertikal dari zooplankton yang umumnya plankton akan bergerak ke atas pada waktu cahaya lemah dan bergerak ke bawah pada waktu cahaya keras (siang hari).

Di samping hal tersebut di atas, terdapat juga periodisitas musiman yang daurnya selama satu tahun. Pada daerah iklim sedang, temperatur bekerjasama dengan panjang siang hari dapat mempengaruhi waktu berbunga dan migrasi burung.

Secara konvensional kita berpikir adanya 4 musim yaitu semi (spring), panas (summer), gugur (autum), dan dingin (winter), tetapi kaum ekologis membagi musim menjadi 6 yaitu :

1. Hibernial (winter atau hienal)
2. Prevernal (permulaan musim semi)
3. Vernal (akhir musim semi)
4. Aestival (permulaan musim panas)
5. Serotinal (akhir musim panas)
6. Autumnal (musim gugur)

C. EKOTONES DAN KONSEP EFEK TEPI (EDGE EFFECT)

Ekotones adalah peralihan dua atau lebih komunitas yang berbeda (hutan-padang-rumput, laut-darat, asin-tawar).

Komunitas ekotone biasanya mengandung sebagian dari kedua anggota komunitas dan tumpang tindih dengan tambahan beberapa spesies yang terbatas pada ekotone. Umumnya macam spesies dan kepadatan populasi pada ekotone lebih besar dari komunitas yang berbatasan. Kecenderungan bertambah besarnya keanekaragaman dan densitas pada komunitas yang berbatasan disebut efek tepi (*edge effect*). Organisme yang banyak atau sebagian besar terdapat pada daerah ekotone disebut spesies tepi (*edge effect*)

D. STRUKTUR KOMUNITAS

Struktur Komunitas

Karakter komunitas

1. Kualitatif, seperti komposisi, bentuk hidup, fenologi dan vitalitas. Vitalitas menggambarkan kapasitas pertumbuhan dan perkembangbiakan organisme.
2. Kuantitatif, seperti frekuensi, densitas dan densitas relatif. Frekuensi kehadiran merupakan nilai yang menyatakan jumlah kehadiran suatu spesies di dalam suatu habitat. Densitas (kepadatan) dinyatakan sebagai jumlah atau biomassa per unit contoh, atau persatuan luas/volume, atau persatuan penangkapan
3. Sintesis adalah proses perubahan dalam komunitas yang berlangsung menuju ke satu arah yang berlangsung lambat secara teratur pasti terarah dan dapat diramalkan. Suksesi-suksesi terjadi sebagai akibat dari modifikasi lingkungan fisik dalam komunitasnya dan memerlukan waktu. Proses ini berakhir dengan sebuah komunitas atau ekosistem yang disebut klimaks. Dalam tingkat ini komunitas sudah mengalami homeostosis. Menurut konsep mutakhir suksesi merupakan pergantian jenis-jenis pioner oleh jenis-jenis yang lebih mantap yang sangat sesuai dengan lingkungannya.

E. INTERAKSI DALAM KOMUNITAS

Dalam komunitas, semua organisme merupakan bagian dari komunitas dan antara komponennya saling berhubungan melalui keragaman interaksinya. Interaksi antarkomponen ekologi dapat merupakan interaksi antarorganisme, antarpopulasi, dan antarkomunitas.

1. Interaksi Antarorganisme

Semua makhluk hidup selalu bergantung kepada makhluk hidup yang lain. Tiap individu akan selalu berhubungan dengan individu lain yang sejenis atau lain jenis, baik individu dalam satu populasinya atau individu-individu dari populasi lain. Interaksi demikian banyak kita lihat di sekitar kita.

Interaksi antar organisme dalam komunitas ada yang sangat erat dan ada yang kurang erat. Interaksi antarorganisme dapat dikategorikan sebagai berikut.

Netral adalah hubungan tidak saling mengganggu antarorganisme dalam habitat yang sama yang bersifat tidak menguntungkan dan tidak merugikan kedua belah pihak, disebut netral. Contohnya : antara capung dan sapi.

Predasi adalah hubungan antara mangsa dan pemangsa (predator). Hubungan ini sangat erat sebab tanpa mangsa, predator tak dapat hidup. Sebaliknya, predator juga berfungsi sebagai pengontrol populasi mangsa. Contoh : Singa dengan mangsanya, yaitu kijang, rusa, dan burung hantu dengan tikus.

Parasitisme adalah hubungan antarorganisme yang berbeda spesies, bilasalah satu organisme hidup pada organisme lain dan mengambil makanan dari hospes/inangnya sehingga bersifat merugikan inangnya. Contoh : Plasmodium dengan manusia, *Taenia saginata* dengan sapi, dan benalu dengan pohon inang.

Komensalisme adalah merupakan hubunganantara dua organisme yang berbeda spesies dalam bentuk kehidupan bersama untuk berbagi sumber makanan; salah satu spesies diuntungkan dan spesies lainnya tidak dirugikan. Contohnya anggrek dengan pohon yang ditumpanginya.

Mutualisme adalah hubungan antara dua organisme— yang berbeda spesies yang saling menguntungkan kedua belah pihak. Contoh, bakteri Rhizobium yang hidup pada bintil akar kacang-kacangan.

2. Interaksi Antarpopulasi

Antara populasi yang satu dengan populasi lain selalu terjadi interaksi secara langsung atau tidak langsung dalam komunitasnya. Contoh interaksi antarpopulasi adalah sebagai berikut.

Alelopati merupakan interaksi antarpopulasi, bila populasi yang satu menghasilkan zat yang dapat menghalangi tumbuhnya populasi lain. Contohnya, di sekitar pohon walnut (*Juglans*) jarang ditumbuhi tumbuhan lain karena tumbuhan ini menghasilkan zat yang bersifat toksik. Pada mikroorganisme istilah alelopati dikenal sebagai anabiosa. Contoh, jamur *Penicillium* sp. dapat

menghasilkan antibiotika yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri tertentu.

Kompetisi merupakan interaksi antarpopulasi, bila antarpopulasi terdapat kepentingan yang sama sehingga terjadi persaingan untuk mendapatkan apa yang diperlukan. Contoh, persaingan antara populasi kambing dengan populasi sapi di padang rumput.

3. Interaksi AntarKomunitas

Komunitas adalah kumpulan populasi yang berbeda di suatu daerah yang sama dan saling berinteraksi. Contoh komunitas, misalnya komunitas sawah dan sungai. Komunitas sawah disusun oleh bermacam-macam organisme, misalnya padi, belalang, burung, ular, dan gulma. Komunitas sungai terdiri dari ikan, ganggang, zooplankton, fitoplankton, dan dekomposer. Antara komunitas sungai dan sawah terjadi interaksi dalam bentuk peredaran nutrien dari air sungai ke sawah dan peredaran organisme hidup dari kedua komunitas tersebut.

Interaksi antarkomunitas cukup kompleks karena tidak hanya melibatkan organisme, tapi juga aliran energi dan makanan. Interaksi antarkomunitas dapat kita amati, misalnya pada daur karbon. Daur karbon melibatkan ekosistem yang berbeda misalnya laut dan darat.

4. Interaksi Antarkomponen Biotik dengan Abiotik

Interaksi antara komponen biotik dengan abiotik membentuk ekosistem. Hubungan antara organisme dengan

lingkungannya menyebabkan terjadinya aliran energi dalam sistem itu. Selain aliran energi, di dalam ekosistem terdapat juga struktur atau tingkat trofik, keanekaragaman biotik, serta siklus materi. Dengan adanya interaksi-interaksi tersebut, suatu ekosistem dapat mempertahankan keseimbangannya. Pengaturan untuk menjamin terjadinya keseimbangan ini merupakan ciri khas suatu ekosistem. Apabila keseimbangan ini tidak diperoleh maka akan mendorong terjadinya dinamika perubahan ekosistem untuk mencapai keseimbangan baru.



BAB IV PENGERTIAN DAN KONSEP-KONSEP EKOSISTEM

Secara singkat ekosistem berarti sistem yang berlangsung dalam suatu lingkungan. Di dalam lingkungan terdapat komponen-komponen, baik komponen fisik (*benda hidup/biotik dan benda mati/abiotik*) maupun komponen nonfisik berupa hubungan manfaat suatu benda terhadap benda lainnya (*trofik*). Di dalam lingkungan juga terjadi suatu fenomena dinamika yang menyangkut hubungan interaksi antar kelompok fisik, atau dapat dikatakan bahwa di dalam lingkungan tersebut terjadi suatu sistem yang dinamis. Dari uraian di atas, pengertian ekosistem secara luas adalah hubungan makhluk hidup dengan lingkungannya (*biotik dan abiotik*), masing-masing bersifat saling mempengaruhi dan diperlukan keberadaannya untuk memelihara kehidupan yang seimbang, selaras dan harmonis. Dalam hal ini, fungsi-fungsi dalam ekosistem ditekankan pada hubungan wajib, adanya saling ketergantungan dan hubungan timbal balik serta sebab-akibat dari seluruh komponen yang membentuk ekosistem tersebut. Menurut lokasinya, ekosistem dapat dibedakan menjadi ekosistem daratan, ekosistem air tawar dan ekosistem laut/pantai. Masing-masing ekosistem memiliki perbedaan hanya dalam hal jenis, struktur, karakteristik dan kualitas komponen-komponen yang terlibat.

Ekosistem-ekosistem digolongkan ke dalam kategori lebih besar yaitu *biom* yang umumnya diidentifikasi dari vegetasi yang mencirikaninya. Hutan tropis, gurun, padang rumput, merupakan contoh biom. Biom merupakan unit ekologis terbesar di dalam *biosfer*. Biosfer itu adalah seluruh lingkungan hidup di planet bumi. Setiap ekosistem berbeda dari segi luasan dan keruwetan, juga dari segi daya dukung dan ketahanan terhadap gangguan. Ekosistem yang pada awalnya luas dan stabil, menjadi terkotak-kotak dan sangat rawan terhadap gangguan baru. Sebenarnya hampir tidak ada lagi ekosistem yang tidak dipengaruhi secara nyata oleh kegiatan manusia. Misalnya, jika dalam keadaan normal hutan tropis basah tidak terbakar walaupun dalam kemarau panjang, tetapi setelah terdegradasi oleh logging berlebihan akhirnya terbakar juga, seperti yang dialami dua tahun lalu.

A. KONSEP EKOSISTEM

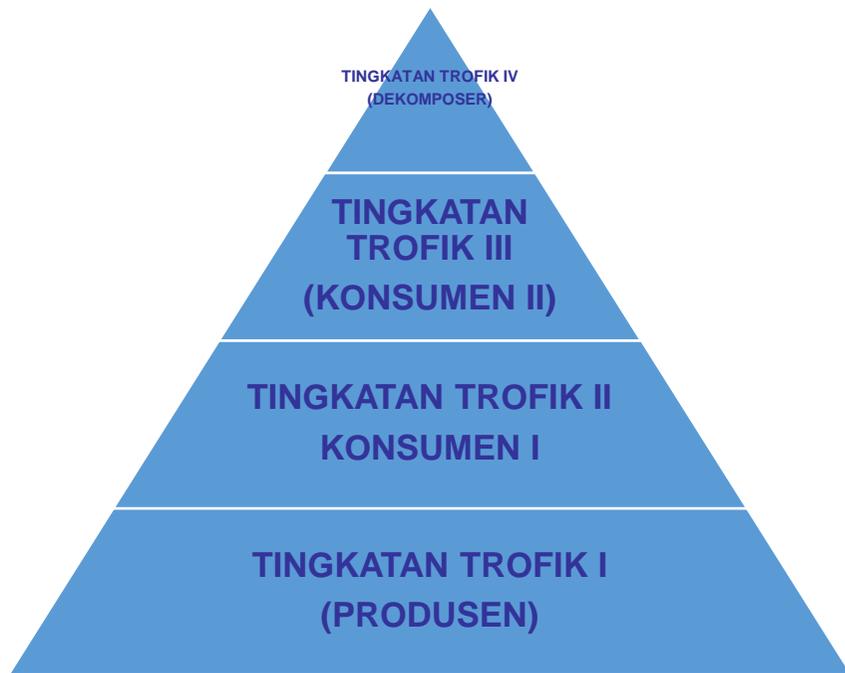
Ekosistem merupakan kesatuan dari seluruh komponen yang membangunnya. Di dalam suatu ekosistem terdapat kesatuan proses yang saling terkait dan mempengaruhi antar semua komponen. Pada suatu ekosistem terdapat komponen yang hidup (biotik) dan komponen tak hidup (abiotik). Ekosistem juga diartikan sebagai suatu fungsional dasar dalam ekologi, mengingat bahwa di dalamnya tercakup organisme dan lingkungan abiotik yang saling mempengaruhi satu dengan lainnya. Ekosistem juga merupakan benda nyata memiliki ukuran yang beraneka menurut tingkat organisasinya.

Menurut Undang-undang Lingkungan hidup (UULH, 1982) ekosistem adalah tatanama kesatuan secara utuh menyeluruh antara segenap unsur lingkungan hidup yang saling mempengaruhi. Di dalam

ekosistem terdapat makhluk hidup (biotik) dan lingkungan yang tidak hidup (abiotik). Ekosistem merupakan tingkat organisme yang lebih tinggi dari komunitas, atau merupakan kesatuan dari komunitas dengan lingkungannya di mana terjadi antarhubungan. Di sini tidak hanya mencakup serangkaian spesies tumbuhan dan hewan saja, tetapi juga segala macam bentuk materi yang melakukan siklus dalam sistem itu serta energi yang menjadi sumber kekuatan. Untuk mendapatkan energi dan materi yang diperlukan untuk hidupnya semua komunitas bergantung kepada lingkungan abiotik. Organisme produsen memerlukan energi, cahaya, oksigen, air, dan garam-garam yang semuanya diambil dari lingkungan abiotik. Energi dan materi dari konsumen tingkat pertama diteruskan ke konsumen tingkat kedua dan seterusnya ke konsumen-konsumen lainnya melalui jaring-jaring makanan.

Materi dan energi berasal dari lingkungan abiotik akan kembali lagi ke lingkungan abiotik. Dalam hal ini komunitas dalam lingkungan abiotiknya merupakan suatu sistem yang disebut ekosistem. Jadi konsep ekosistem menyangkut semua hubungan dalam suatu komunitas dan di samping itu juga semua hubungan antara komunitas dan lingkungan abiotiknya. Hubungan dinamis dalam ekosistem melibatkan beberapa komponen-komponen. Komponen-komponen tersebut dapat dilihat dari dua aspek yang berbeda, yaitu dari aspek jenjang makan (*trophic level/chain food level*) dan aspek kehidupan.

Dari aspek jenjang makan, ekosistem terdiri dari *komponen autotrofik dan komponen heterotrofik*, yang ditekankan pada level transfer energi.



Gambar 4.1 Tingkatan trofik

1. Komponen Autotropik

Kata Autotropik berasal dari kata *Auto* = sendiri dan *trophikos* = menyediakan makan. Autotrof adalah organisme yang mampu menyediakan/ mensintesis makanan sendiri yang berupa bahan organik dari bahan anorganik dengan bantuan energi seperti matahari dan kimia. Komponen autotrof berfungsi sebagai produsen, contohnya tumbuh-tumbuhan hijau.

Komponen autotropik (memberi makanan sendiri), disini terjadi pengikatan energi sinar matahari menggunakan senyawa-senyawa anorganik sederhana dan membangun senyawa kompleks. Contoh : Tumbuhan hijau.

2. Komponen Heterotropik

Kata Heterotropik berasal dari kata Heteros = berbeda dan *trophikos* = makanan. Heterotrof merupakan organisme yang

memanfaatkan bahan-bahan organik sebagai makanannya dan bahan tersebut disediakan oleh organisme lain. Yang tergolong heterotrof adalah manusia, hewan, jamur, dan mikroba.

Komponen heterotropik (memakan yang lainnya), di sini terjadi pemakaian, pengaturan kembali dan perombakan bahan-bahan yang kompleks.

Menurut Wiegert Van Owens (1970), komponen Heterotropik :

1. Biophag : organisme yang makan organisme hidup.
2. Saprophag : organisme yang makan organisme mati.

Dari aspek kehidupan, ekosistem terdiri dari komponen biotik dan komponen abiotik yang berkaitan erat dan memiliki hubungan timbal balik satu dengan lainnya.

1. Komponen Biotik

Manusia, hewan dan tumbuhan termasuk komponen biotik yang terdapat dalam suatu ekosistem. Komponen biotik di bedakan menjadi 3 golongan yaitu produsen, konsumen dan dekomposer.

a. Produsen

Semua produsen dapat menghasilkan makanannya sendiri sehingga disebut organisme autotrof. Sebagai produsen, tumbuhan hijau mnghasilkan makanan (karbohidrat) melalui proses potosintesis. Makanan di manfaatkan oleh tumbuhan itu sendiri maupun makhluk hidup lainnya. Dengan demikian produsen merupakan sumber energi utama bagi organisme lain, yaitu konsumen.

b. Konsumen

Semua konsumen tidak dapat membuat makanan sendiri di dalam tubuhnya sehingga disebut heterotrof. Mereka mendapatkan zat-zat organik yang telah di bentuk oleh produsen, atau dari konsumen lain yang menjadi mangsanya.

Berdasarkan jenis makanannya, konsumen di kelompokkan sebagai berikut:

- Pemakan tumbuhan (herbivora), misalnya kambing, kerbau, kelinci dan sapi.
- Pemakan daging (karnivora), misalnya harimau, burung, elang, dan serigala.
- Pemakan tumbuhan dan daging (omnivore), misalnya ayam, itik, dan orang hutan.

c. Dekomposer

Kelompok ini berperan penting dalam ekosistem. Jika kelompok ini tidak ada, kita akan melihat sampah yang mennggunung dan makhluk hidup yang mati tetap utuh selamanya. Dekomposer berperan sebagai pengurai, yang menguraikan zat-zat organik (dari bangkai) menjadi zat-zat organik penyusunnya.

2. Komponen Abiotik

Komponen abiotik merupakan komponen yang kedua dalam ekosistem ditinjau dari aspek kehidupan. Komponen ini terdiri dari bahan tak hidup berupa unsur-unsur fisik (lingkungan) dan unsur-unsur kimia (senyawa organik dan senyawa anorganik), misalnya tanah, air, udara, sinar matahari dan sebagainya, yang berada di lingkungan dalam bentuk medium atau substrat melangsungkan

kehidupan. Misalnya pada ekosistem danau ditemukan komponen abiotik yang terdiri dari senyawa anorganik seperti H_2O , CO_2 , O_2 , K, Na, dan P, dan senyawa organik seperti senyawa asam amino dan senyawa karbon (humus).

Bagian dari komponen abiotik adalah :

- **Tanah**

Sifat-sifat fisik tanah yang berperan dalam ekosistem meliputi tekstur, kematangan, dan kemampuan menahan air.

- **Air**

Hal-hal penting pada air yang mempengaruhi kehidupan makhluk hidup adalah suhu air, kadar mineral air, salinitas, arus air, penguapan, dan kedalaman air.

- **Udara**

Udara merupakan lingkungan abiotik yang berupa gas. Gas itu berbentuk atmosfer yang melingkupi makhluk hidup. Oksigen, karbon dioksida, dan nitrogen merupakan gas yang paling penting bagi kehidupan makhluk hidup.

- **Cahaya matahari**

Cahaya matahari merupakan sumber energi utama bagi kehidupan di bumi ini. Namun demikian, penyebaran cahaya di bumi belum merata. Oleh karena itu, organisme harus menyesuaikan diri dengan lingkungan yang intensitas dan kualitas cahayanya berbeda.

- **Suhu atau temperatur.**

Setiap makhluk hidup memerlukan suhu optimum untuk kegiatan metabolisme dan perkembangbiakannya.

Ekosistem dan lingkungan merupakan dua hal yang tidak terpisahkan. Dalam pembahasan mengenai ekosistem, lingkungan juga akan menjadi objek pembahasan. Secara fisik, lingkungan berarti wadah atau tempat berlangsungnya suatu sistem kehidupan organisme atau suatu komunitas. Kondisi lingkungan akan berubah jika terjadi perubahan di dalam ekosistem atau sebaliknya, masing-masing saling mempengaruhi dalam suatu keseimbangan yang dinamis dan merupakan satu kesatuan fungsional. Dengan demikian, ekosistem meliputi seluruh makhluk hidup dan lingkungan fisik yang mengelilinginya, dan merupakan suatu unit yang mencakup semua makhluk hidup dalam suatu area yang memungkinkan terjadinya interaksi dengan lingkungannya, baik yang bersifat abiotik maupun biotik. Semua bentuk pada interaksi antara komponen ekosistem merupakan suatu azas, yakni azas keanekaragaman, azas kerjasama, azas persaingan, azas interaksi dan azas keanekaragaman. Azas-azas tersebut berfungsi sebagai sarana untuk tetap mempertahankan adanya kelanggengan dalam hubungan timbal balik antara komponen ekosistem dan antara komponen tersebut dengan lingkungannya. Jika setiap komponen tersebut bekerjasama sesuai dengan fungsinya, maka keseimbangan dan keserasian dalam lingkungan hidup akan tetap terjaga dan berlangsung dengan baik.

Manusia adalah penentu kualitas lingkungan, sehingga dalam pemanfaatan sumber daya lingkungan hidup, manusia dapat melakukan aktifitas yang berdampak positif atau negatif terhadap lingkungan. Manusia juga mempunyai pengaruh yang paling kuat dalam mengubah ekosistem, baik langsung maupun tidak langsung aktifitas manusia seringkali dapat mengubah volume, susunan dan struktur komponen

organik lingkungan dengan mengubah bahan organik yang ada.

Hubungan antara organisme dan lingkungan fisiknya begitu erat dan tidak dapat dipisahkan satu dengan yang lain. Mengubah hubungan organisme dan lingkungan fisiknya berarti melakukan perubahan terhadap susunan dan struktur biotik dan abiotik, atau mengubah lingkungan hidup yang bermuara pada munculnya berbagai dampak dan resiko bagi manusia itu sendiri. Manusia berinteraksi dengan lingkungan, dipengaruhi dan mempengaruhi lingkungan hidup tersebut. Hubungan manusia dan lingkungannya bersifat sirkuler. Berbagai kegiatan manusia dari sekedar bernafas hingga membendung sungai, sedikit banyak akan mengubah lingkungannya dan perubahan lingkungan itu pada saatnya akan kembali mempengaruhi manusia. Pengaruh terhadap satu unsur akan merambat pada unsur lainnya yang bergerak merambat secara halus, seringkali pengaruhnya terhadap manusia tidak dapat terlihat dan dirasakan, namun pada suatu saat pengaruh tersebut akan terakumulasi dan memberikan dampak yang nyata.

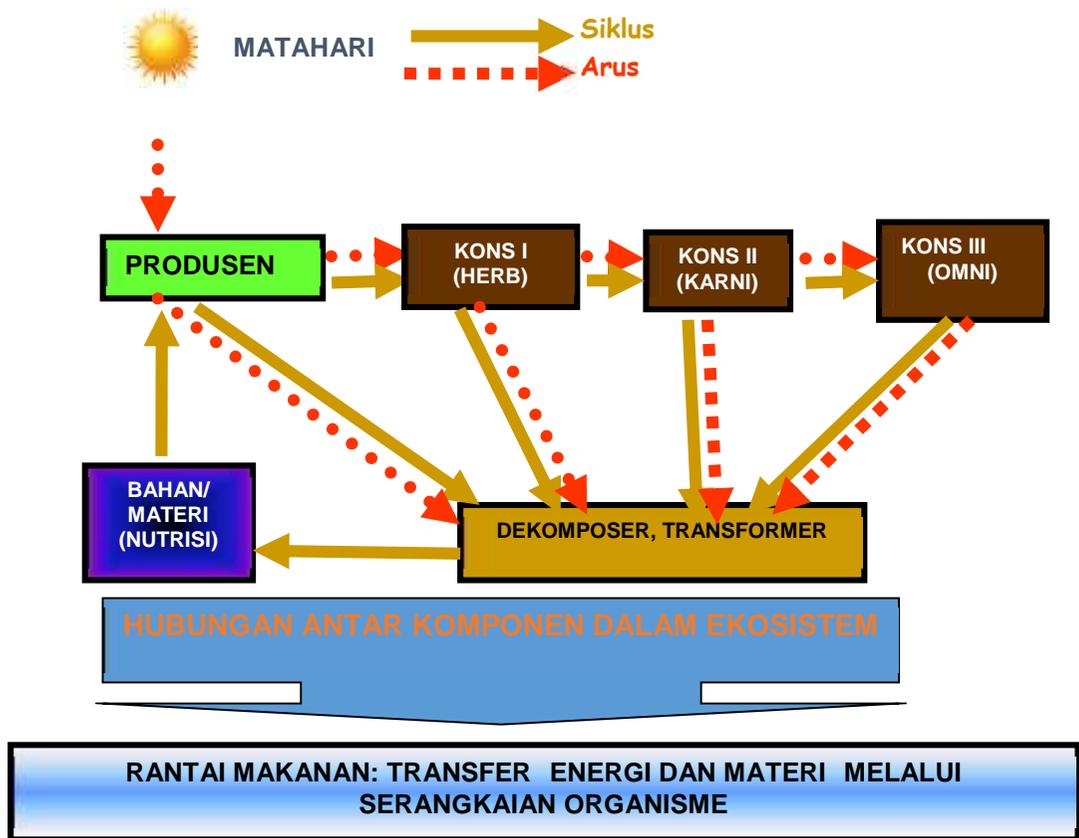
Kualitas kehidupan tergantung dari derajat pemenuhan kebutuhan dasar yang diperoleh dari suatu lingkungan, dan kualitas lingkungan dapat menjadi ukuran derajat pemenuhan kebutuhan dasar tersebut. Semakin tinggi derajat kualitas kehidupan dalam suatu lingkungan berarti semakin tinggi pula derajat pemenuhan kebutuhan dasar, atau sebaliknya. Dengan demikian, kualitas lingkungan yang baik akan menghasilkan derajat kualitas pemenuhan kebutuhan dasar yang baik, dan selanjutnya menghasilkan kualitas lingkungan yang baik. Jika kualitas lingkungan mengalami penurunan, maka penurunan kualitas tersebut akan mengakibatkan beberapa hal antara lain:

- a) Kesehatan, penyakit infeksi
 - Zat beracun dalam udara, makanan dan air
 - Pengaruh energi fisik yang tidak terkontrol terhadap kesehatan
- b) Kenyamanan, efisiensi dan estetika
 - Pandangan tidak sedap, bau menyengat dan rasa tidak enak
 - Panas, suara gaduh/bising dan cahaya
 - Ciri struktur: kemudahan dan efisiensi
- c) Pengaruh terhadap keseimbangan ekosistem dan sumber daya alam

Dari segi fungsional, ekosistem dapat dianalisis menurut :

1. Lingkaran Energi

Sesuai dengan azas pertama dari azas dasar ilmu lingkungan, yaitu semua energi yang memasuki sebuah organisme hidup atau populasi atau ekosistem dapat dianggap sebagai energi yang tersimpan atau terlepas. Energi dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk yang lainnya tetapi tidak dapat hilang, dihancurkan, atau diciptakan.



Gambar 4.2. Transfer energi dan materi melalui organisme

2. Rantai Makanan

Rantai makanan merupakan perpindahan energi makanan dari sumber daya tumbuhan melalui seri organisme atau melalui jenjang makan (tumbuhan-herbivora-carnivora). Pada setiap tahap pemindahan energi, 80 – 90% energi potensial hilang sebagai panas, karena itu langkah-langkah dalam rantai makanan terbatas 4-5 langkah saja. Dengan perkataan lain, semakin pendek rantai makanan semakin besar pula energi yang tersedia.

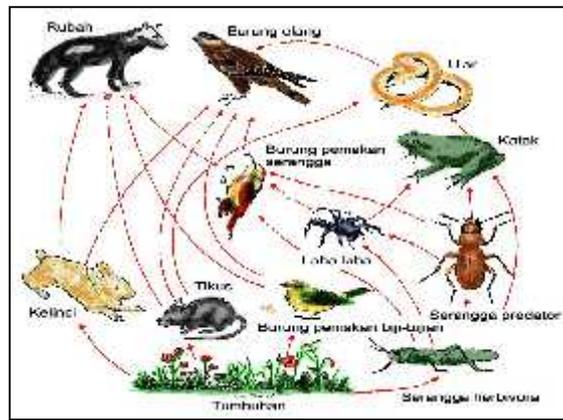
Ada dua tipe dasar rantai makanan:

- Rantai makanan rerumputan (*grazing food chain*)

Misal, tumbuhan-herbivora-carnivora.

- Rantai makanan sisa (*detritus food chain*)

Bahan mati mikroorganisme (detrivora = organisme pemakan sisa) predator.



Gambar 4.3. Rantai makanan

3. Pola keragaman waktu dan ruang

Merupakan azas ketiga dari azas dasar ilmu lingkungan yaitu materi, energi, ruang, waktu dan keanekaragaman, semuanya termasuk kategori sumber alam.

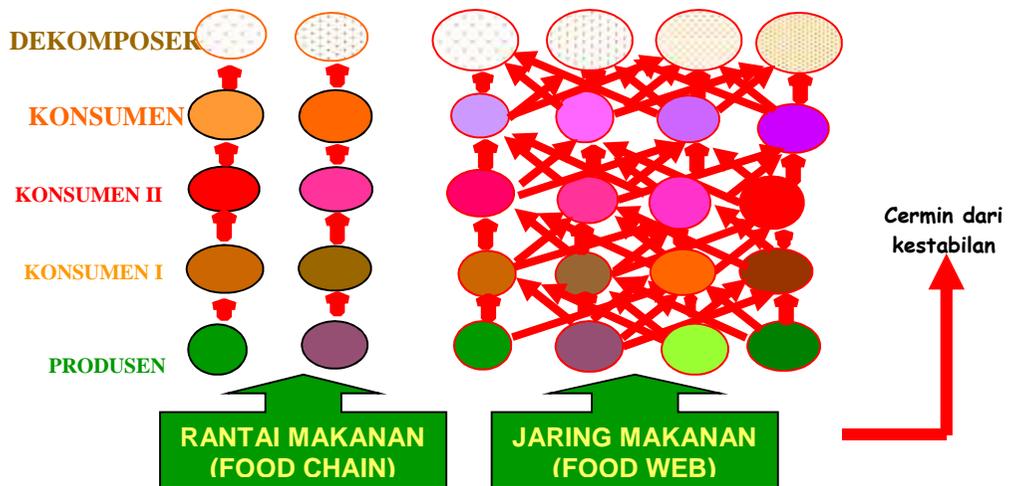
4. Perkembangan dan evolusi

Dapat didekati dengan azas ketiga belas dari azas dasar ilmu lingkungan, yaitu lingkungan yang secara fisik mantap memungkinkan terjadinya penimbunan keanekaragaman biologi dalam ekosistem yang mantap, yang kemudian dapat menggalakkan kemantapan populasi lebih jauh lagi.

5. Pengendalian (*Cybernetics*)

Organisme menyesuaikan diri dengan lingkungan fisik, akan tetapi organisme juga dapat membuat lingkungannya menyesuaikan terhadap kebutuhan biologisnya, misalnya tumbuhan dapat mempengaruhi tanah tempat tumbuhnya. Dalam hal ini telah terjadi fungsi pengendalian.

Hubungan antar komponen ekosistem merupakan hubungan yang bersifat tetap teratur dan merupakan satu kesatuan yang saling pengaruh mempengaruhi, sehingga *ekosistem merupakan konsep sentral atau inti daripada ekologi*. Hubungan tersebut juga bersifat *netral, mutualistik dan adaptif*, namun ada pula yang bersifat menguasai komponen lain. Pada akhirnya alamlah menentukan adanya keserasian dan keseimbangan dalam interaksi antar komponen ekosistem tersebut. Bagaimana pun juga, ekosistem akan cenderung melawan perubahan untuk memelihara keseimbangannya, ada yang berhasil dan ada yang gagal. Ekosistem memiliki kecenderungan melawan perubahan akibat hubungan antar komponen dan terus menerus memelihara keseimbangan, disebut sebagai ekosistem yang berada dalam keadaan *homeostatis*. Ekosistem merupakan suatu fungsional dasar dalam ekologi, mengingat bahwa di dalamnya tercakup organisme dan lingkungan abiotik yang saling mempengaruhi satu dengan lainnya. Ekosistem juga merupakan benda nyata memiliki ukuran yang beraneka menurut tingkat organisasinya.



Gambar 4.4. Hubungan antara rantai makanan dan jaring-jaring makanan

B. PERUBAHAN EKOSISTEM DAN DAMPAK LINGKUNGAN

Kegiatan manusia dan bencana alam dapat menyebabkan perubahan suatu ekosistem. Bencana alam, seperti letusan gunung berapi dan gempa bumi merupakan sesuatu yang berada di luar kendali manusia. Namun kegiatan manusia, seperti tindakan pencemaran dan eksploitasi yang berlebihan terhadap sumber daya alam, secara langsung atau tidak langsung akan mengakibatkan terjadinya perubahan ekosistem. Perusakan terhadap habitat suatu komunitas akan secara langsung mengubah ekosistem pada habitat tersebut. Sebagai contoh, eksploitasi ikan di danau atau di sungai dengan menggunakan bahan peledak, arus listrik atau bahan beracun berakibat rusaknya habitat komunitas di danau/sungai dan selanjutnya menyebabkan terjadinya perubahan ekosistem dan penurunan keanekaragaman hayati.



Gambar 4.5. Gangguan pada ekosistem hutan



Gambar 4.6. Gangguan pada ekosistem sungai

Pada ekosistem air tawar terdapat faktor-faktor pembatas yang memungkinkan mekanisme yang berlangsung dalam ekosistem berjalan secara mantap. Faktor-faktor pembatas tersebut berkaitan dengan kondisi habitat air tawar (lingkungan akuatik), yaitu:

- a. Temperatur
- b. Transpirasi
- c. Turbiditas/kekeruhan
- d. Arus
- e. Gas terlarut dalam air
- f. Oksigen terlarut (Dissolved Oksigen/DO)
- g. Karbondioksida terlarut
- h. Garam biogenik dalam air

- i. Na dan K
- j. Kalsium dan Magnesium
- k. Fosfor
- l. Konveksi air

Dengan terganggunya faktor-faktor pembatas di atas, misalnya kenaikan atau penurunan konsentrasi dan *magnitude* dari faktor-faktor tersebut, niscaya akan mempengaruhi komunitas dan lingkungan abiotik dari ekosistem danau/sungai. Contoh kasus akibat pencemaran air yang berasal dari limbah suatu pabrik kertas yang memberikan dampak buruk terhadap lingkungan dan gangguan terhadap ekosistem, sebagai berikut:

1. Gangguan terhadap vegetasi

Tanaman padi di sawah-sawah pada kawasan tercemar sering terserang *penyakit layu* dengan gejala pucuk daun yang mengering dan membusuk dan berakhir dengan kematian tanaman tersebut.

2. Gangguan terhadap fauna

Hewan dan unggas yang meminum air sungai yang tercemar tersebut mati atau menghasikan keturunan yang cacat.

3. Gangguan terhadap manusia

Dalam menggarap sawah, petani harus mengubah cara menanam padi terutama di musim kemarau, karena sepanjang musim tanam terdapat banyak sekali lapisan kertas yang mengendap dan menutupi permukaan tanah; petani harus menyediakan tenaga ekstra untuk memunguti lapisan kertas yang mengendap menutup permukaan tanah tersebut yang berarti menambah biaya produksi. Dari suatu contoh di atas, jelaslah sudah bahwa gangguan atau pencemaran terhadap lingkungan akan berakibat terjadinya

perubahan pada ekosistem tersebut.

C. PENGENDALIAN SECARA BIOLOGI LINGKUNGAN KIMIA

Organisme menyesuaikan diri dengan lingkungan fisik (xerophyt, halophyt, dan hidrophyt), akan tetapi organisme juga dapat membuat lingkungan geokimia menyesuaikan terhadap kebutuhan biologisnya. Dengan kata lain, organisme dapat mempengaruhi lingkungannya. Misalnya tumbuhan dapat mempengaruhi tanah tempat tumbuhnya, Coelenterata dapat membentuk batu karang yang mempengaruhi lingkungan, juga manusia dapat mengubah lingkungan demi kepentingan dirinya.

D. PRODUKSI DAN DEKOMPOSISI DI ALAM

Di alam selalu terjadi proses produksi sebagai hasil fotosintesa dari organisme produsen. Sebagai gambaran dapat disebutkan bahwa hasil fotosintesa pertahun dapat mencapai 10^{17} gram. Disamping ada proses produksi di alam, juga selalu terjadi proses dekomposisi. Ada tiga tahapan proses dekomposisi, yaitu :

1. Pembentukan butiran kecil sisa-sisa oleh aksi biologi.
2. Produksi humus dan pelepasan zat organik yang larut oleh saprotroph
3. Mineralisasi humus.

Dalam proses ini, bakteri penting dalam penghancuran daging, sedangkan jamur penting dalam proses kayu jika organisme besar mati (termasuk tanaman) akan menjadi habitat khusus mikroorganisme dan dipecahkan oleh detritivora misalnya serangga) menjadi *detritus*. Meskipun serangga tidak makan selulosa akan tetapi membantuk penguraiannya karena:

1. Memecah kayu menjadi kecil-kecil sehingga mudah dimakan.

2. Menghasilkan faktor tumbuh (*growth faktor*).
3. Dengan memakan, bakteri mempertahankan populasi bakteri alam keadaan fase log, yaitu di mana perkembangan bakteri sangat cepat.

Beberapa detritivora adalah *Coprophagus*, yaitu pemakan pelet kotoran setelah pelet diperkaya oleh mikroba, misalnya *popilus* (sjenis kumbang) yang hidup pada kayu membusuk mempergunakan saluran rumahnya sebagai *rumah luar* di mana pelet kotoran dan kunyahan kayu yang diperkaya oleh jamur dimakan lagi sehingga mempercepat pembusukan kayu. *Coprophagus* dalam hal ini melibatkan kerja sama insekta dan jamur dan memungkinkan kumbang (*beetle*) memanfaatkan energi kayu dan mempercepat pembusukan kayu.

Zat organik hasil pebusukan mempunyai pengaruh khusus terhadap pertumbuhan organisme lain dalam ekosistem. Zat ini oleh Julian Huxley (1935) disebut *hormon difusi external*, sedangkan Lucas menyebutkan *ectorine* atau *environmetal hormon* atau *exocrine*. Zat tersebut dapat menghambat pertumbuhan organisme lain misalnya antitumorik atau merangsang pertumbuhan misalnya vitamin (thiamin, biotin, B₁₂), urasil, dan histidin.

Saprotroph memegang peranan dalam penghasilan eksokrine. Fenomena penting ialah penghasilan minyak menguap (*Volatile secretion*) yang disebut *pheromones*, yang dapat mengendalikan tingkah laku insekta dan organisme lain. Menurut Winogradsky, organisme yang menguraikan humus disebut *zymogenius*, sedangkan yang menguraikan humus disebut *autochthonous*. Detritus, humus, dan senyawa lain yang mengakami pembusukan memegang peranan penting dalam penyuburan tanah. Senyawa organik kompleks bersama dengan mineral

dapat diserap oleh tanaman dan pembentukan kompleks zat organik bersama dengan mineral disebut *chalcation*.

Degradasi zat organik mengendalikan sejumlah fungsi dalam ekosistem misalnya:

1. Peredaran kembali nutrisi melalui mineralisasi.
2. Pembentukan makanan dalam rantai makanan detritus.
3. Pembentukan ekstorin yang bersifat mengatur.
4. Memodifikasi bahan-bahan yang masih perawan dari tanah.

Manusia dapat mempercepat dekomposisi dengan jalan:

1. Perubahan bahan organik (bahan bakar fosil) yang penambahan CO₂ udara. CO₂ dapat ditembus oleh cahaya matahari menimbulkan efek rumah kaca, dan menyebabkan naiknya temperatur dan jika ini terjadi akan mencairnya es kutub sehingga dapat menaikkan permukaan air laut.
2. Usaha pertanian akan mempercepat dekomposisi humus.

E. HOMEOSTATIS EKOSISTEM

Ekosistem mampu memelihara dan mengatur diri sendiri seperti halnya komponen yang menyusunnya yaitu organisme dan populasi. Karena itu *cybernetics* (ilmu pengendalian) mempunyai peran penting dalam ekologi karena manusia cenderung untuk mengacaukan sistem pengendalian alamiah.

Homoestatis merupakan istilah untuk kecenderungan sistem biologi untuk menahan perubahan dan selalu berada pada keseimbangan.

- Bahwa ekosistem mampu memelihara dan mengatur diri sendiri seperti komponen yang menyusunnya (organisme dan populasi).
- Karena itu *Cybernetics* (ilmu pengendalian) mempunyai peran

penting dalam ekologi karena manusia cenderung mengacaukan sistem pengendalian alamiah.

- Homeostatis : kecenderungan sistem biologi untuk menahan perubahan dan selalu berada dalam keseimbangan.

Homeostatis ekosistem :

TERJAGA KARENA:

- **KESEIMBANGAN INTERAKSI ANTAR KOMPONEN**
- **TRANSFER MATERI DAN ENERGI**
- **KEMAMPUAN MENAHAN BERBAGAI PERUBAHAN DALAM SISTEM**



BAB V

PENGERTIAN DAN KONSEP ENERGI DALAM EKOSISTEM

MATAHARI

Setiap individu membutuhkan lingkungan fisik tertentu sebagai komunitas biotik harus berinteraksi dengan komunitas abiotik. Dalam habitat terjadi interaksi-interaksi yang sangat kompleks dan sangat rumit antar komponen, antar komunitas dan habitat walaupun begitu interaksi tetap berjalan secara normal sehingga antara komunitas biotik dan habitat membentuk sebuah sistem ekologi atau disebut ekosistem. Sistem yaitu interaksi-interaksi yang menyatukan komponen yang ada menjadi satu kesatuan dan menjadikan sebuah fungsi tertentu.

Dari sudut pandang lain, sistem merupakan sekelompok komponen yang saling terkait, dan saling mempengaruhi sehingga membentuk suatu kesatuan secara utuh. Syarat dari sebuah sistem yang baik yaitu adanya interaksi antar komponen harus serasi dan seimbang, keseimbangan dalam ekosistem dinamakan keseimbangan yang dinamis (*steady state*) yaitu keseimbangan yang sewaktu-waktu bisa mengalami perubahan yang akan diikuti oleh berbagai macam proses sehingga akan berakhir dengan keseimbangan yang baru.

Energi merupakan daya yang digunakan untuk melakukan aktivitas sumber energi utama: Sinar Matahari. Matahari dimanfaatkan langsung oleh tumbuhan hijau dalam bentuk elektromagnetik untuk proses fotosintesis. Energi yang masuk dalam ekosistem berupa energi radiasi matahari atau energi cahaya tapi tidak semuanya dapat dimanfaatkan. Energi yang di simpan berupa materi tumbuhan dapat dialirkan melalui rantai makanan dan jaring makanan dari produsen sampai dengan konsumen sampai dengan dekomposer. Apabila materi tidak dikonsumsi maka energi akan disimpan dalam sistem kemudian diteruskan sampai decomposer. Setiap tingkat trafik di dalam rantai makanan menggunakan energi untuk hidup dan sebagian dikeluarkan sebagai panas. Kemungkinan ekspor energi / energi menuju ekosistem lain dalam bentuk materi organik.

A. PENGERTIAN DAN LINGKUNGAN ENERGI

Energi adalah segala sesuatu yang dapat melakukan pekerjaan (energi panas, energi potensial, energi kimia).

- Hukum Termodinamika I : tenaga tidak dapat diciptakan dan dihilangkan akan tetapi dapat berubah bentuk.
- Hukum Termodinamika II : entropi suatu sistem selalu bertambah besar, atau suatu sistem selalu menuju yang tidak teratur kecuali kalau ditambahkan energi (organisme mati selalu terurai tetapi organisme hidup tidak, karena adanya penambahan energi).

Dari penjelasan tersebut dapat dimengerti bahwa tidak ada proses yang melibatkan transfer energi dapat terjadi secara spontan kecuali ada degradasi energi (benda panas selalu menjadi dingin dan disini ada

penimbunan senyawa organik pada tanaman dan dapat dituliskan dengan rumus : $PK\text{-respirasi}$

3. Produktivitas komunitas bersih

Merupakan kecepatan penyimpanan bahan organik yang tidak digunakan oleh heterotrof dalam satuan waktu atau dapat dituliskan dengan rumus:

$PPB - \text{penggunaan heterotrof selama waktu}$

4. Produktivitas sekunder merupakan kecepatan

Merupakan kecepatan penyimpanan energi pada tingkat konsumen. Karena konsumen hanya mengambil makanan yang telah dihasilkan oleh produsen (setelah dipakai respirasi) dan kemudian mengubahnya menjadi jaringan maka produktivitas sekunder tidak dibagi menjadi gross dan net.

Produktivitas biologi umumnya tidak sama dengan produktivitas industri kimia karena pada industri kimia produksi merupakan hasil reaksi terakhir tetapi dalam proses biologi proses berjalan terus sehingga harus dicantumkan suatu waktu.

Produksi hutan hujan akan lebih tinggi daripada daerah pertanian. Akan tetapi manusia dapat memperbesar produksi dengan mempergunakan bibit unggul dan penggunaan pupuk. Dengan kata lain penambahan produksi terjadi karena adanya penambahan energi.

Hubungan input energi produktivitas primer

Tabel 5.1 Transfer Energi (%)

Langkah	1	2	3	4
	Total energi radiasi surya	Yang diisap oleh stratum autotropik	Produksi primer kotor	Produksi primer bersih (dapat dipergunakan heterotrof)
Maksimum rata-rata	100	50	5	4
Keadan baik rata-rata	100	50	1	0,5
Biosfir	100	<50	0,2	0,1

Tabel 5.2 Efisiensi waktu (%)

Langkah	Maksimum	Rata-rata keadaan baik	Rata-rata seluruh biosfir
1-2	50	50	<50
1-3	5	1	0,2
1-4	4	0,5	0,1
2-3	10	2	0,4
3-4	80	50	50

Hubungan antara produksi kotor dan bersih dapat diterangkan dengan model grafik leaf area index (LAI). LAI yang digambarkan dengan sumbu X dapat dianggap sebagai ukuran fotosintesis biomassa. Produktivitas maksimum didapatkan pada LAI sekitar 4 (yaitu luas permukaan daun yang terkena cahaya 4X luas permukaan tanah). Akan tetapi produksi kotor (GPP) tercapai apabila LAI 8-10 yaitu pada hutan tua.

Produksi bersih (NPP= Net primary productivity) menurun pada derajat/ level tinggi karena kehilangan akibat adanya respirasi untuk menghasilkan daun yang luas dan jaringan pendukungnya. Sebagai kesimpulan dapat dikatakan bahwa alam akan memaksimumkan GPP sedangkan manusia akan memaksimumkan NPP.

1. Penggunaan Produksi Primer oleh Manusia

Di Negara berkembang GNP lebih dari \$ 600/tahun dan 30% dari penduduk dunia berada dalam keadaan ini. Di Negara yang berkembang, laju kenaikan penduduk Negara kurang dari 1%/tahun.

Di Negara yang kurang berkembang GNP kurang dari \$ 300/tahun dan 65% dari penduduk dunia berada dalam keadaan ini. Laju kenaikan penduduk di Negara kurang berkembang 2%/tahun. Di Negara kurang berkembang, penduduk kekurangan protein bahkan karbohidrat. Karena kenaikan penduduk yang besar maka kenaikan produksi pertanian tidak dapat mengejar. Hal ini disebabkan karena kenaikan produksi pertanian kecil akibat tidak ada penambahan energi (baik berupa pupuk atau pengairan yang baik).

2. Pengukuran Produktivitas Primer

Dalam kenyataan, pengukuran produktivitas dapat dilakukan dengan cara pengukuran yang didasarkan pada kuantitas tak langsung, antara lain dengan mengukur.

- Jumlah senyawa yang dihasilkan
- Bahan mentah yang dihasilkan
- Hasil samping yang dihasilkan

3. Beberapa Metode Pengukuran Produktivitas

a) Metode Panen

Mengukur produksi komunitas bersih. Dipergunakan jika keadaan mantap tidak pernah tercapai. Umumnya metode ini dipergunakan pada tanaman budidaya. Metode dilakukan dengan menimbang hasil panen. Metode ini kurang teliti jika sebagian hasil dimakan oleh herbivore.

b) Pengukuran Oksigen

Produksi oksigen dapat dipakai sebagai dasar pengukuran produktivitas. Produksi ekosistem air dapat diukur dengan metode kurva diurnal. Metode ini mengukur produksi primer kotor karena oksigen yang diproduksi siang hari ditambah oksigen yang diproduksi malam hari merupakan oksigen yang dihasilkan seluruh komunitas.

Pada danau terdapat lapisan atas yang ditembus cahaya dan temperatur panas yang disebut lapisan epilimnion, sedang lapisan dibawahnya disebut hipolimnion.

Metode pengukuran yang disebut metode hipolimnetik mengukur banyaknya oksigen yang menghilang dari ekosistem yaitu menggambarkan banyaknya oksigen yang dipakai untuk pembusukan. Dengan kata lain bahwa semakin besar produktivitas epilimnion akan makin banyak senyawa organik yang turun ke hipolimnion, sehingga akan makin banyak oksigen yang diperlukan untuk pembusukan. Jadi metode hipolimnion akan mengukur produktivitas bersih.

c) Metode Karbondioksida

Metode ini praktis untuk tanaman/organism darat. Pada siang hari terjadi fotosintesis dan respirasi sedangkan pada malam hari hanya ada respirasi.

d) Metode PH

Pada ekosistem perairan PH air merupakan fungsi dari kadar karbondioksida terlarut. Pengukuran produktivitas dengan menggunakan metode ini harus mempersiapkan terdahulu kurva kalibrasi pH air.

e) Metode Pengukuran Produktivitas dengan Lenyapnya Bahan Mentah

Berkurangnya kandungan bahan-bahan mentah yang tersedia menggambarkan tingkat produktivitas. Baik dilakukan pada ekosistem perairan. Metode ini mengukur produksi bersih komunitas.

f) Penentuan Produktivitas Dengan Bahan Radioaktif

Metode ini mengukur produktivitas bersih. Radioaktif dapat dipakai untuk mengukur produktivitas bersih.

g) Metode Klorofil

Metode ini berdasarkan kandungan klorofil per area dalam suatu komunitas. Tumbuhan yang berada di bawah naungan mempunyai klorofil lebih banyak daripada tumbuhan yang tumbuh di tempat terang. Karena ini tumbuhan dalam naungan dapat menjerat lebih banyak tenaga sinar jadi efisiennya tinggi. Sedangkan tumbuhan di daerah terang efisiensinya lebih rendah. Metode ini mengukur produktivitas kotor.

C. RANTAI MAKANAN, JARING MAKANAN DAN TINGKAT TROFIK

Rantai makanan merupakan perpindahan energi makanan dari sumber daya tumbuhan melalui seri organisme atau melalui jalur makan-memakan (tumbuhan – herbivora – karnivora).

Pada setiap tahap perpindahan 80 – 90 % energi potensial hilang sebagai panas, karena itu langkah-langkah dalam makanan terbatas 4 – 5 langkah saja. Dengan kata lain dapat di sebutkan bahwa semakin pendek rantai makanan makin besar energi yang tersedia.

Ada dua tipe dasar rantai makanan :

a. Rantai makanan rerumputan (grazing food chain)

Tumbuhan — herbivora — karnivora

b. Rantai makanan sisa (detritus food chain)

Bahan mati → mikroorganisme (detritivora = organisme pemakan sisa) → predator

Rantai makanan akan saling berkaitan membentuk jaringan makanan (food web). Rantai makanan yang sederhana terjadi di daerah kutub pada musim dingin. Hal ini disebabkan pada musim dingin cahaya sedikit, sehingga tanaman produsen sedikit, akibatnya herbivora dan carnivora juga sedikit.

Organisme yang sumber makanannya diperoleh dari tumbuhan dengan jumlah langkah yang sama disebut mempunyai tingkat trofik (trofik level) yang sama. Tingkat trofik I adalah produsen, tingkat II adalah herbivora dan tingkat trofik III adalah carnivora (konsumen II). Penggolongan organisme berdasar tingkat trofik (jenjang makanan) didasarkan atas fungsi organisme dalam rantai makanan dan bukan berdasarkan atas spesies. Oleh karena itu satu spesies dalam populasi dapat menduduki lebih dari satu jenjang makanan.

Dari 100 % cahaya matahari yang dapat dimanfaatkan untuk fotosintesis hanya 1 %, sedangkan 80 – 90 % energi potensial makanan akan hilang dalam transfer energi dalam makanan. Oleh karena itu hanya sedikit populasi manusia dapat ditopang pada masyarakat (populasi) yang diet utamanya adalah daging, karena untuk menghasilkan daging memerlukan rantai makanan yang panjang.

Cahaya matahari	---->	Produsen	---->	Konsumen 1
Energy 100%		1%		1%, 10%

Pada pembasmian serangga dengan penyemprotan dengan DDT akan diabsorpsi oleh detritus → mikroba → invertebrata (cacing, serangga) → ikan, ketam → burung.

Pada kasus ini akan terjadi akumulasi residu DDT pada rantai makanan yang terakhir. Kejadian ini disebut konsentrasi rantai makanan atau magnifikasi biologi (biological magnification). DDT atau senyawa lain yang mengandung klor dapat mempengaruhi pembentukan kulit telur dalam jumlah yang cukup besar dan mengakibatkan telur mudah pecah sebelum anak burung menetas dan ini dapat menyebabkan punahnya burung tertentu. Jadi konsentrasi zat yang tidak baik mematikan bagi individu dapat mematikan bagi populasi. Karena itu pemberantasan hama sebaiknya dengan cara biologi yaitu dengan musuh alami.

1. Efisiensi Ekologik

Efisiensi ekologi adalah perbandingan arus energi pada berbagai titik sepanjang rantai makanan dalam persen. Dalam menghitung efisiensi dimensi harus sama, artinya pembilang dan penyebut dinyatakan dalam unit yang sama, misalnya mengukur efisiensi makanan ayam, maka daging dan makanan harus diukur dalam keadaan kering (jam/Kg). Paling baik jika pengukuran dalam % kalori.

Misalnya peternak ayam mengatakan efisiensi perubahan makan ayam menjadi daging 40 % (Pt/It). Dalam hal ini harap diingat bahwa berat daging dalam keadaan basah ekuivalen dengan 2 Kcal/gram, sedangkan makan ayam ditimbang dalam keadaan kering dan ekuivalen dengan 4 Kcal/gram. Jadi efisiensinya sebetulnya kurang dari 20 %.

Di dalam transfer energi antar trofik level (jenjang makanan), $PG/L = 1 - 5\%$: $PG/LA = 2 - 10\%$, sedangkan efisiensi produksi antar jenjang makanan = $10 - 50\%$ atau lebih besar. Jika organisme diberi makanan yang baik, yang terdiri dari kalori dan protein maka efisiensi mendekati 100% dan sebagian energi diasimilasikan untuk pertumbuhan.

Sebetulnya kurang sesuai membandingkan efisiensi ekosistem yang berumur lama dengan mesin yang berumur pendek. Hal ini di sebabkan sebagian energi ekosistem di manfaatkan untuk perbaikan dan pertumbuhan di samping hilang sebagai panas sedangkan mesin tidak dapat memperbaiki diri sendiri. Di samping itu pertumbuhan ekosistem yang cepat per satuan waktu mempunyai survival value yang lebih besar di bandingkan dengan efisiensi tinggi. Dalam penggunaan bahan bakar analoginya lebih penting mencapai tujuan dengan kecepatan tinggi akan tetapi kurang efisien dari pada kendaraan pelan dan lama, tetapi efisien.

D. METABOLISME DAN UKURAN ORGANISME

Standing Crop Biomass (dinyatakan dengan berat kering atau kandungan kalori total organisme pada suatu waktu) dapat ditunjang oleh aliran energi yang konstan dalam rantai makanan dan sampai batas tertentu dipengaruhi oleh ukuran organisme. Makin kecil organisme akan makin kecil biomassa yang dapat ditunjang pada jenjang makanan tertentu dari ekosistem. Sebaliknya makin besar organisme makin *besar standing crop biomass*-nya.

Contoh :

Phytoplankton ganggang dalam suatu danau yang beratnya hanya beberapa Kg dapat mempunyai metabolisme yang menyamai pohon besar, juga metabolisme beberapa Kg zooplankton seimbang dengan metabolisme seekor sapi.

Kecepatan metabolisme dapat diukur dengan jalan mengukur banyaknya O₂ untuk respirasi atau O₂ yang dihasilkan fotosintesis. Kecepatan metabolisme organisme dipengaruhi oleh luas permukaan tubuh organisme. Hal ini disebabkan makin luas permukaan tubuh akan makin besar radiasi panas, juga organisme homoitherm metabolisme lebih tinggi daripada organisme poikiotherm. Pada tanaman makin luas daun makin tinggi metabolismenya. Pohon yang besar dapat dianggap satu organisme akan tetapi dapat juga dianggap setiap helai daun satu organisme.

E. STRUKTUR JENJANG MAKANAN DAN PIRAMIDA MAKANAN

Fenomena interksi pada rantai makanan di mana energi akan hilang waktu terjadi transfer dari jenjang makanan satu ke jenjang makanan lain dan hubungan antara ukuran dengan kecepatan metabolisme yang dihasilkan komunitas mempunyai struktur trofik tertentu yang ering merupakan ciri khas dari suatu ekosistem (danau, hutan, karang, dan sebagainya).

Struktur tofik dapat digambarkan dan diukur dengan menghitung standing crop per unit area mengukur energi yang diikat per unit area untuk satu waktu pada suatu jenjang trofik.

Ekosistem bisa dikatakan komunitas dari lingkungan fisiknya yang masing-masing dapat diterapkan pada kesatuan kecil maupun besar yang

saling berinteraksi antara organisme-organisme dan lingkungannya. Dikenal ada dua hukum termodinamika, yaitu 1) bahwa energi dapat berubah bentuk, tidak dapat dimusnahkan serta diciptakan, 2) bahwa tidak ada perubahan bentuk energi yang efisien. Aliran energi di alam atau ekosistem tunduk kepada hukum-hukum termodinamika tersebut.

Dengan proses fotosintesis energi cahaya matahari ditangkap oleh tumbuhan, dan diubah menjadi energi kimia atau makanan yang disimpan di dalam tubuh tumbuhan. Proses aliran energi berlangsung dengan adanya proses rantai makanan. Tumbuhan dimakan oleh herbivora, dengan demikian energi makanan dari tumbuhan mengalir masuk ke tubuh herbivora. Herbivora dimakan oleh karnivora, sehingga energi makanan dari herbivora masuk ke tubuh karnivora. Di alam rantai makanan itu tidak sederhana, tetapi ada banyak satu dengan yang lain saling terkait atau berhubungan sehingga membentuk jaring-jaring makanan. Organisme-organisme yang memperoleh energi makanan dari tumbuhan dengan jumlah langkah yang sama dimasukkan ke dalam aras trofik yang sama. Makin tinggi aras trofiknya, makin tinggi pula efisiensi ekologi.

Suatu organisme hidup akan selalu membutuhkan organisme lain dan lingkungan hidupnya. Hubungan yang terjadi antara individu dengan lingkungannya sangat kompleks, bersifat saling mempengaruhi atau timbal balik. Hubungan timbal balik antara unsur-unsur hayati dengan nonhayati membentuk sistem ekologi yang disebut ekosistem. Di dalam ekosistem terjadi rantai makanan, aliran energi, dan siklus biogeokimia.

Rantai makanan adalah pengalihan energi dari sumbernya dalam tumbuhan melalui sederetan organisme yang makan dan yang dimakan. Para ilmuwan ekologi mengenal tiga macam rantai pokok, yaitu rantai pemangsa, rantai parasit, dan rantai saprofit.

1. Rantai Pemangsa

Rantai pemangsa landasan utamanya adalah tumbuhan hijau sebagai produsen. Rantai pemangsa dimulai dari hewan yang bersifat herbivora sebagai konsumen I, dilanjutkan dengan hewan karnivora yang memangsa herbivora sebagai konsumen ke-2 dan berakhir pada hewan pemangsa karnivora maupun herbivora sebagai konsumen ke-3.

2. Rantai Parasit

Rantai parasit dimulai dari organisme besar hingga organisme yang hidup sebagai parasit. Contoh organisme parasit antara lain cacing, bakteri, dan benalu.

3. Rantai Saprofit

Rantai saprofit dimulai dari organisme mati ke jasad pengurai. Misalnya jamur dan bakteri. Rantai-rantai di atas tidak berdiri sendiri tapi saling berkaitan satu dengan lainnya sehingga membentuk faring-faring makanan.

4. Rantai Makanan dan Tingkat Trofik

Salah satu cara suatu komunitas berinteraksi adalah dengan peristiwa makan dan dimakan, sehingga terjadi pemindahan energi, elemen kimia, dan komponen lain dari satu bentuk ke bentuk lain di sepanjang rantai makanan.

Organisme dalam kelompok ekologis yang terlibat dalam rantai makanan digolongkan dalam tingkat-tingkat trofik. Tingkat trofik tersusun dari seluruh organisme pada rantai makanan yang bernomor sama dalam tingkat memakan.

Sumber asal energi adalah matahari. Tumbuhan yang menghasilkan gula lewat proses fotosintesis hanya memakai energi matahari dan CO₂ dari udara. Oleh karena itu, tumbuhan tersebut digolongkan dalam tingkat trofik pertama. Hewan herbivora atau organisme yang memakan tumbuhan termasuk anggota tingkat trofik kedua. Karnivora yang secara langsung memakan herbivora termasuk tingkat trofik ketiga, sedangkan karnivora yang memakan karnivora di tingkat trofik tiga termasuk dalam anggota tingkat trofik keempat.

5. Piramida Ekologi

Struktur trofik pada ekosistem dapat disajikan dalam bentuk piramida ekologi. Ada 3 jenis piramida ekologi, yaitu piramida jumlah, piramida biomassa, dan piramida energi.

Struktur trofik dan fungsi trofik dapat digambarkan dengan piramida ekologi. Ada tiga piramida ekologi, yaitu :

a. Piramida jumlah

Organisme dengan tingkat trofik masing – masing dapat disajikan dalam piramida jumlah, seperti kita organisme di tingkat trofik pertama biasanya paling melimpah, sedangkan organisme di tingkat trofik kedua, ketiga, dan selanjutnya makin berkurang. Dapat dikatakan bahwa pada kebanyakan komunitas normal, jumlah tumbuhan selalu lebih banyak daripada organisme

herbivora. Demikian pula jumlah herbivora selalu lebih banyak daripada jumlah karnivora tingkat 1. Karnivora tingkat 1 juga selalu lebih banyak daripada karnivora tingkat 2. Piramida jumlah ini didasarkan atas jumlah organisme di tiap tingkat trofik.

b. Piramida biomassa yang didasarkan pada berat kering total atau nilai kalori

Seringkali piramida jumlah yang sederhana kurang membantu dalam memperagakan aliran energi dalam ekosistem. Penggambaran yang lebih realistis dapat disajikan dengan piramida biomassa. Biomassa adalah ukuran berat materi hidup di waktu tertentu. Untuk mengukur biomassa di tiap tingkat trofik maka rata-rata berat organisme di tiap tingkat harus diukur kemudian barulah jumlah organisme di tiap tingkat diperkirakan. Piramida biomassa berfungsi menggambarkan perpaduan massa seluruh organisme di habitat tertentu, dan diukur dalam gram. Untuk menghindari kerusakan habitat maka biasanya hanya diambil sedikit sampel dan diukur, kemudian total seluruh biomassa dihitung. Dengan pengukuran seperti ini akan didapat informasi yang lebih akurat tentang apa yang terjadi pada ekosistem.

c. Piramida energi yang didasarkan pada kecepatan aliran energi atau produktivitas pada taraf trofik.

Seringkali piramida biomassa tidak selalu memberi informasi yang kita butuhkan tentang ekosistem tertentu. Lain dengan Piramida energi yang dibuat berdasarkan observasi yang dilakukan dalam

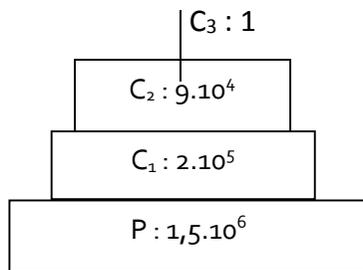
waktu yang lama. Piramida energi mampu memberikan gambaran paling akurat tentang aliran energi dalam ekosistem.

Pada piramida energi terjadi penurunan sejumlah energi berturut-turut yang tersedia di tiap tingkat trofik. Berkurangnya energi yang terjadi di setiap trofik terjadi karena hal-hal berikut:

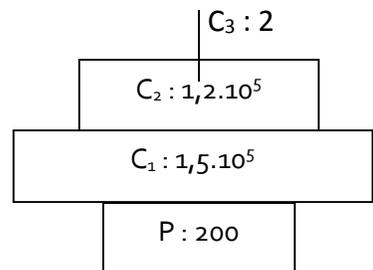
- Hanya sejumlah makanan tertentu yang ditangkap dan dimakan oleh tingkat trofik selanjutnya.
- Beberapa makanan yang dimakan tidak bisa dicernakan dan dikeluarkan sebagai sampah.
- Hanya sebagian makanan yang dicerna menjadi bagian dari tubuh organisme, sedangkan sisanya digunakan sebagai sumber energi.

Gambar piramida makanan :

- Piramida jumlah : jumlah individu per satuan luas



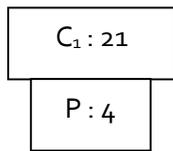
Padang rumput musim panas



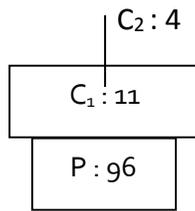
Hutan iklim sedang musim

panas

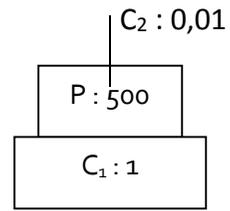
b. Piramida biomassa : berat kering (gram) per m²



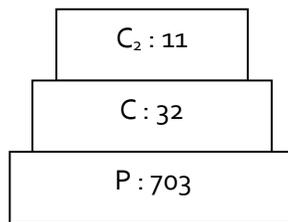
Selat Inggris



Danau Wikonsis

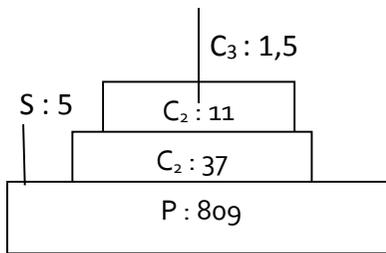


Padang tua Georgia

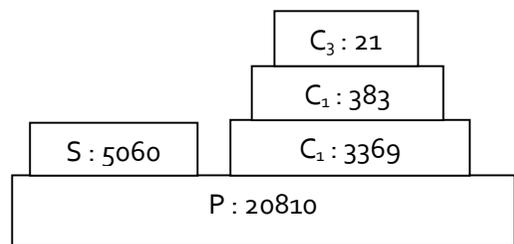


Karang EniwetoK

c. Perbandingan standing crop dan piramida arus energi pada Silver Spring

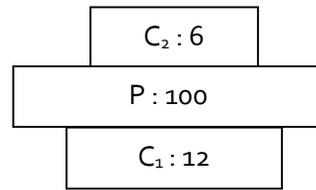
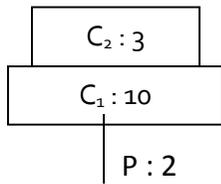


Standing crop (Kcal/m²)



Arus energi (Kcal/m²/tahun)

d. Perubahan musiman piramida biomassa dalam air (plankton), mg berat kering / m²



P = Produsen

S = Sapotrof

C₁ = Konsumen I

C₂ = Konsumen II

C₃ = Konsumen III

Piramida jumlah tidak begitu fundamental untuk alat ilustrasi karena adanya efek relatif dari :

- Faktor geometri (ukuran, besar, kecil)
- Rantai makanan (selalu ada energi yang hilang waktu transfer).

Karena itu piramida jumlah sangat bervariasi.

Piramida biomassa lebih fundamental sebagai alat ilustrasi karena faktor geometris tidak berpengaruh. Secara umum piramida biomassa memberi gambaran keseluruhan dari efek rantai makanan dalam ekosistem. Berat total individu dan jenjang makanan yang berurutan akan menggambarkan suatu piramid dengan kemiringan bertingkat selama berat organisme tidak berbeda banyak.

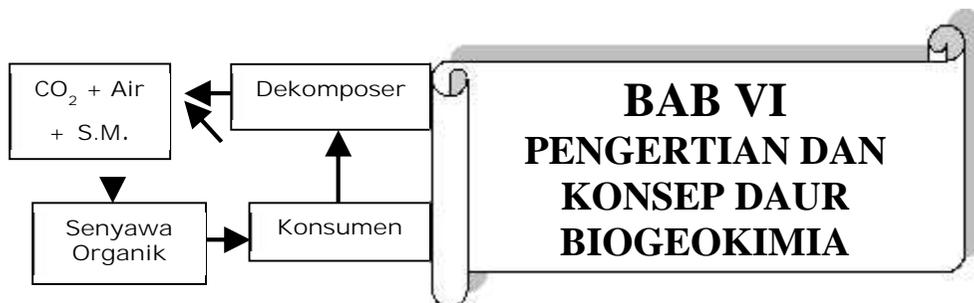
Akan tetapi jika organisme bagian bawah jauh lebih kecil akan dihasilkan piramida biomassa terbalik. Misalnya produsen ukuran sangat kecil dan konsumen ukuran besar maka pada suatu saat dapat terjadi berat total konsumen lebih besar daripada produsen hal ini disebabkan karena pada musim panas biomassa fitoplankton tinggi tetapi waktu musim dingin biomassa fitoplankton kecil. Harap diingat produsen kecil, turn over yang tinggi karena cepat membiak.

Generalisasi :

- a. Pada ekosistem teresterial dan air dangkal, produsen umumnya besar dan hidup lama sehingga bentuk piramida normal (dasar besar dan atas kecil).
- b. Pada badan air yang terbuka dan dalam umumnya produsen kecil dan daur hidupnya cepat (turn-over tinggi), piramida biomassa pada suatu saat bervariasi dan dapat berbentuk piramida terbalik.
- c. Danau kecil di mana tanaman berakar dan plankton penting maka piramida biomassa merupakan peralihan a dan b.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa gambaran piramida yang terbalik ialah piramida energi karena memberikan gambaran terbalik dari fungsi alam karena jumlah dan berat organisme yang dapat ditunjang bergantung kepada kecepatan produksi. Piramida energi memberikan gambaran aliran energi dalam rantai makanan dan bentuk piramida tidak terpengaruh oleh jumlah dan berat organisme. Bentuk piramida energi selalu bawah besar dan atas kecil. Aturan ekologi pada piramida dalam ekosistem :

- a. Piramida jumlah terlalu mementingkan organisme kecil.
- b. Piramida biomassa terlalu mementingkan organisme besar.
- c. Piramida energi memberikan indeks yang sesuai dalam membandingkan semua komponen dalam ekosistem.



Semua yang ada di bumi baik makhluk hidup maupun benda mati tersusun oleh materi. Materi ini tersusun oleh antara lain: karbon (C), oksigen (O), nitrogen (N), hidrogen (H), belerang atau sulfur (S) dan fosfor (P). Unsur-unsur kimia tersebut dimanfaatkan oleh produsen untuk membentuk bahan organik dengan bantuan energi matahari atau energi yang berasal dari reaksi kimia. Bahan organik yang dihasilkan adalah sumber bagi organisme. Proses makan atau dimakan pada rantai makanan mengakibatkan aliran materi dari mata rantai yang lain. Walaupun makhluk dalam satu rantai makanan mati, aliran materi masih tetap berlangsung terus. Karena makhluk hidup yang mati tadi diuraikan oleh dekomposer yang akhirnya akan masuk lagi ke rantai makanan berikutnya. Begitu selanjutnya terus-menerus sehingga membentuk suatu aliran energi dan daur materi.

A. PENGERTIAN DAUR BIOGEOKIMIA

Biogeokimia merupakan pertukaran atau perubahan yang terus menerus, antara komponen biosfer yang hidup dengan tak hidup. Dalam suatu ekosistem, materi pada setiap tingkatan trofik tak hilang. Materi berupa unsur-unsur penyusun bahan organik di daur ulang. Unsur-unsur tersebut masuk ke dalam komponen biotik melalui udara,

tanah, dan air. Daur ulang materi tersebut melibatkan makhluk hidup dan batuan (geofisik) sehingga disebut daur biogeokimia (Gambar 5.1.).

Fungsi daur biogeokimia adalah sebagai siklus materi yang melibatkan semua unsur kimia yang sudah terpakai oleh semua yang ada di bumi baik komponen biotik maupun abiotik, sehingga kelangsungan hidup di bumi tetap terjaga.



Gambar 6.1. Pengertian daur biogeokimia

Macam-macam daur biogeokimia meliputi:

1. Daur Air

Air di atmosfer berada dalam bentuk uap air. Uap air berasal dari air di daratan dan laut yang menguap karena panas cahaya matahari. Sebagian besar uap air di atmosfer berasal dari laut karena laut mencapai 3/4 luas permukaan bumi. Uap air di atmosfer terkondensasi menjadi awan yang turun ke daratan dan laut dalam

bentuk hujan. Air hujan di daratan masuk ke dalam tanah membentuk air permukaan tanah dan air tanah.

Tumbuhan darat menyerap air yang ada di dalam tanah. Dalam tubuh tumbuhan air mengalir melalui suatu pembuluh. Kemudian melalui tranpirasi uap air dilepaskan oleh tumbuhan ke atmosfer. Transpirasi oleh tumbuhan mencakup 90% penguapan pada ekosistem darat. Hewan memperoleh air langsung dari air permukaan serta dari tumbuhan dan hewan yang dimakan, sedangkan manusia menggunakan sekitar seperempat air tanah. Sebagian air keluar dari tubuh hewan dan manusia sebagai urin dan keringat.

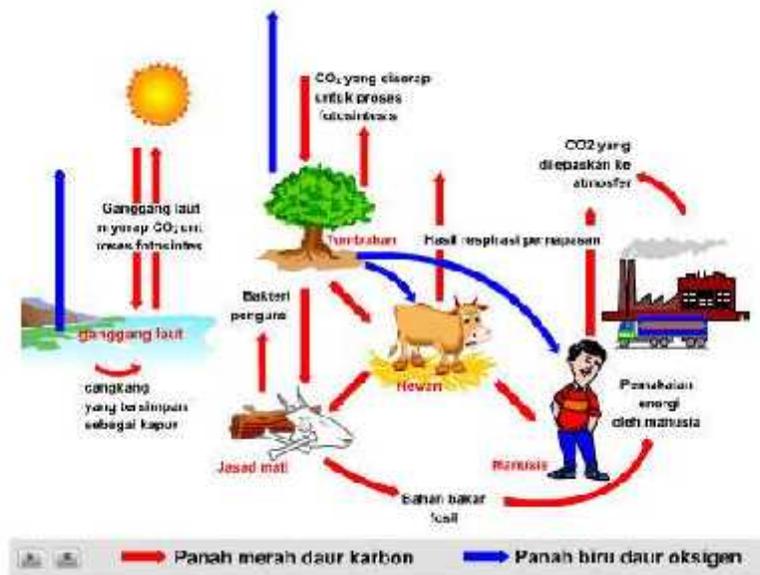
Air tanah dan air permukaan sebagian mengalir ke sungai, kemudian ke danau dan ke laut. Daur ini di sebut Daur Panjang. Sedangkan daur yang dimulai dengan proses Transpirasi dan Evapotranspirasi dari air yang terdapat di permukaan bumi, lalu diikuti oleh Presipitasi atau turunnya air ke permukaan bumi disebut Daur Pendek (Gambar 6.2.).

2. Daur Air



Gambar 6.2. Daur air

3. Daur Karbon dan Oksigen



Gambar 6.3. Daur karbon

Proses timbal balik fotosintesis dan respirasi seluler bertanggung jawab atas perubahan dan pergerakan utama karbon. Naik turunnya CO₂ dan O₂ atmosfer secara musiman disebabkan oleh penurunan aktivitas fotosintetik. Dalam skala global kembalinya CO₂ dan O₂ ke atmosfer melalui respirasi hampir menyeimbangkan pengeluarannya melalui fotosintesis.

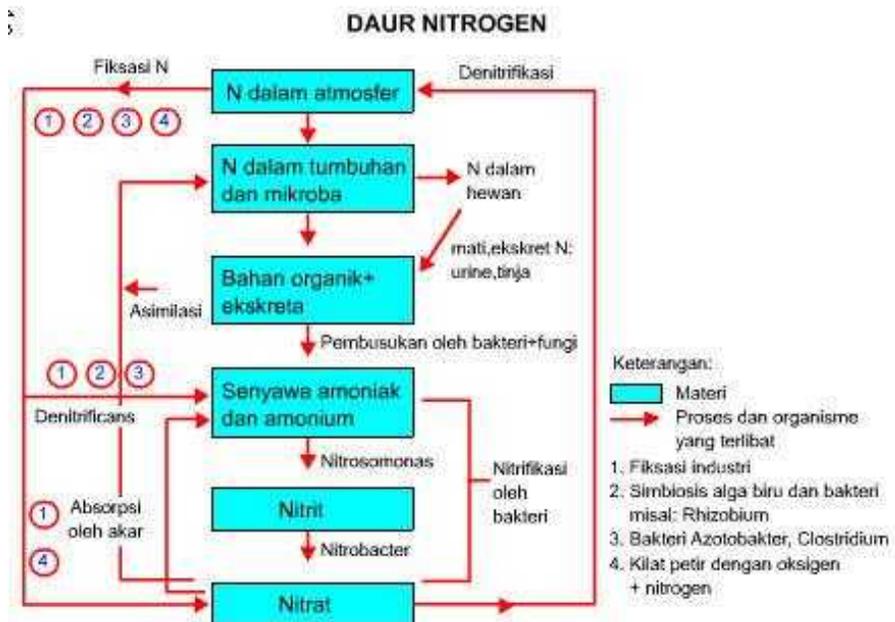
Akan tetapi pembakaran kayu dan bahan bakar fosil menambahkan lebih banyak lagi CO₂ ke atmosfer. Sebagai akibatnya jumlah CO₂ di atmosfer meningkat. CO₂ dan O₂ atmosfer juga berpindah masuk ke dalam dan ke luar sistem akuatik, dimana CO₂ dan O₂ terlibat dalam suatu keseimbangan dinamis dengan bentuk bahan anorganik lainnya.

4. Daur Nitrogen

Di alam, Nitrogen terdapat dalam bentuk senyawa organik seperti urea, protein, dan asam nukleat atau sebagai senyawa anorganik seperti ammonia, nitrit, dan nitrat.

Tahap pertama

Daur nitrogen adalah transfer nitrogen dari atmosfer ke dalam tanah. Selain air hujan yang membawa sejumlah nitrogen, penambahan nitrogen ke dalam tanah terjadi melalui proses fiksasi nitrogen. Fiksasi nitrogen secara biologis dapat dilakukan oleh bakteri Rhizobium yang bersimbiosis dengan polong-polongan, bakteri Azotobacter dan Clostridium. Selain itu ganggang hijau biru dalam air juga memiliki kemampuan memfiksasi nitrogen.



Gambar 6.4. Daur nitrogen

📌 Tahap kedua

Nitrat yang di hasilkan oleh fiksasi biologis digunakan oleh produsen (tumbuhan) diubah menjadi molekul protein. Selanjutnya jika tumbuhan atau hewan mati, mahluk pengurai merombaknya menjadi gas amoniak (NH_3) dan garam amonium yang larut dalam air (NH_4^+). Proses ini disebut dengan amonifikasi. Bakteri Nitrosomonas mengubah amoniak dan senyawa amonium menjadi nitrit oleh Nitrobacter. Apabila oksigen dalam tanah terbatas, nitrat dengan cepat ditransformasikan menjadi gas nitrogen atau oksida nitrogen oleh proses yang disebut denitrifikasi.

5. Daur Belerang (Sulfur)

Dalam daur ini terjadi peristiwa oksidasi (O₂) dan reduksi (R), yang merupakan kunci pertukaran cadangan SO₄ yang tersedia dengan cadangan sulfida besi yang terdapat dalam tanah sebagai persediaan cadangan.

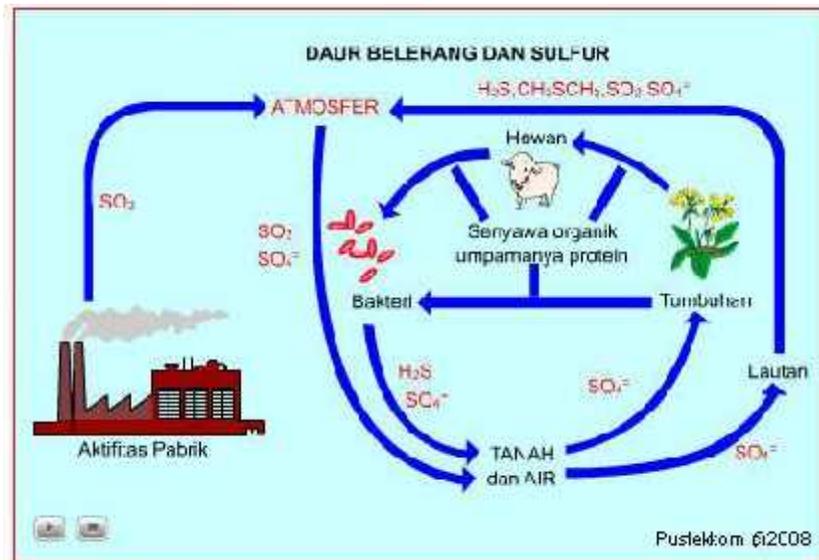
Mikroorganisme yang berperan:

H₂S => S => SO₄ : bakteri belerang (tak berwarna, hijau, purple)

SO₄ => H₂S (anaerob) : bakteri disulfobrio

H₂S => SO₄ (aerob) : bakteri thiobacilli

S => SO₄ dan H₂S (aerob dan anaerob): bakteri heterotroph



Gambar 6.5. Daur belerang (sulfur)

Daur S dan N banyak dipengaruhi oleh populasi asap pabrik dan pembakaran bahan bakar fosil. SO₂ akan mempengaruhi fotosintesa sedangkan NO₂ akan mempengaruhi respirasi hewan. Juga NO₂ dengan adanya sinar ultraviolet akan bereaksi dengan hidrokarbon yang tidak terbakar (dari mobil) dan mengakibatkan kabut fotokimia yang pedih, inilah efek sinergisme NO₂, dengan sinar ultraviolet.

Sulfur terdapat dalam bentuk sulfat anorganik. Sulfur direduksi oleh bakteri menjadi sulfida dan kadang-kadang terdapat dalam bentuk sulfur dioksida atau hidrogen sulfida. Hidrogen sulfida ini seringkali mematikan makhluk hidup di perairan dan pada umumnya dihasilkan dari penguraian bahan organik yang mati. Tumbuhan menyerap sulfur dalam bentuk sulfat (SO₄).

Perpindahan sulfat terjadi melalui proses rantai makanan, lalu semua makhluk hidup mati dan akan diuraikan komponen organiknya oleh bakteri. Beberapa jenis bakteri terlibat dalam daur sulfur, antara lain *Desulfomaculum* dan *Desulfibrio* yang akan mereduksi sulfat menjadi sulfida dalam bentuk hidrogen sulfida (H₂S). Kemudian H₂S digunakan bakteri fotoautotrof anaerob seperti *Chromatium* dan melepaskan sulfur dan oksigen. Sulfur di oksidasi menjadi sulfat oleh bakteri kemolitotrof seperti *Thiobacillus*.

6. Daur Posfor

Posfor merupakan elemen yang langka dibanding dengan nitrogen. dalam perairan P:N₂ = 1:23, pengolahan tanah di USA

selama 50 tahun mengurangi kandungan fosfor dalam bentuk P_2O_5 sebesar 36 %

Posfor merupakan elemen penting dalam kehidupan karena semua makhluk hidup membutuhkan posfor dalam bentuk ATP (Adenosin Tri Fosfat), sebagai sumber energi untuk metabolisme sel. Posfor terdapat di alam dalam bentuk ion fosfat (PO_4^{3-}). Ion Fosfat terdapat dalam bebatuan. Adanya peristiwa erosi dan pelapukan menyebabkan fosfat terbawa menuju sungai hingga laut membentuk sedimen. Adanya pergerakan dasar bumi menyebabkan sedimen yang mengandung fosfat muncul ke permukaan. Di darat tumbuhan mengambil fosfat yang terlarut dalam air tanah

Herbivora mendapatkan fosfat dari tumbuhan yang dimakannya dan karnivora mendapatkan fosfat dari herbivora yang dimakannya. Seluruh hewan mengeluarkan fosfat melalui urin dan feses. Bakteri dan jamur mengurai bahan-bahan anorganik di dalam tanah lalu melepaskan posfor kemudian diambil oleh tumbuhan



Gambar 6.6. Daur posfor

B. TIPE DASAR DAN POLA-POLA DAUR BIOGEOKIMIA

Unsur kimia termasuk unsur protoplasma cenderung untuk membentuk daur dalam dengan pola khusus : lingkungan =>organisme => lingkungan , dan daur ini dikenal sebagai daur biogeokimia. Aliran elemen dan senyawa yang diperlukan untuk kehidupan secara mudah disebut daur makanan

Untuk setiap daur akan ditemukan suatu kompartemen (pool)yaitu:

- Pool cadangan : besar dan gerakannya lambat , umumnya terdiri dari komponen non biologi
- Pool pertukaran atau pool peredaran merupakan bagian yang lebih kecil,akan tetapi lebih aktif bergerak maju-mundur secara cepat antara organisme dan lingkungan

Dari segi biosfer secara keseluruhan , daur biogeokimia terdiri dari dua grup dasar :

- tipe gas dimana cadangannya diatmosfer atau hidrosfer

B. Tipe sedimen dimana cadangannya berada dikulit bumi

Daur tipe gas lebih sempurna daripada tipe sedimen karena unsur P dan Fe cenderung terganggu, kedua unsur tersebut terdapat banyak pada pool.

Manusia dapat mempengaruhi daur unsur karena dapat mengubah daur yang sempurna (siklik) menjadi daur yang tidak sempurna (asiklik), misalnya penambangan unsur P akan mengganggu daur pemakaian pupuk yang tidak bijaksana akan dapat mengakibatkan eutrofikasi dan dapat menurunkan mutu air.

Tujuan perlindungan sumber daya alam ialah membuat proses asiklik mejadi siklik. Resikling air merupakan tempat yang baik untuk memulai perbaikan daur unsur karena resikling air akan dapat mengendalikan nutrien dalam air

C. PENGKAJIAN KUANTITATIF DAUR BIOGEOKIMIA

Kecepatan pertukaran atau pemindahan unsur dari satu tempat ke tempat lain lebih penting dalam menentukan struktur dan fungsi ekosistem dari jumlah yang ada pada suatu tempat dalam suatu waktu

Untuk memahami peranan terhadap daur materi maka kecepatan peredaran zat harus dikuantitatif. Kecepatan daur zat dapat diketahui dengan memakai tracer dan tehnik monitoring dan penginderaan jauh.

Pemakaian isotop untuk tracer misalnya memakai P³² dan Ca⁴⁵ umumnya P tidak bergerak secara lancar dan merata dari organisme. Sebagian P akan terikat pada organisme ataupun batuan, kecepatan pengambilan unsur P oleh organisme dipengaruhi oleh temperatur,

musim dan kegiatan organisme misalnya pada masa pertumbuhan pengambilan P akan cepat.

Pemupukan kolam dengan pupuk P secara tidak teratur dapat mempengaruhi produktivitas ini disebabkan organisme tertentu telah diadaptasikan terhadap kebutuhan P secara khas . kelebihan pemupukan secara terus-menerus dapat berakibat perubahan jenis *Botryococcus braunii* tumbuh subur pada konsentrasit P 89 mg/m³ sedangkan *Nitzchia palae* tumbuh subur pada konsentrasi P 18 mg/m³.peningkatan P dari 18 mg/m³ menjadi 89 mg/m³ berarti penggantian *Botryococcus* dengan *Nitzchia*.

1. Jalur Daur Ulang

Dua jalur daur ulang nutrien pada rantai makanan adalah sebagai berikut:

- a. Pengembalian melalui jalur ekskresi hewan.
- b. Pengembalian melalui jalur dekomposisi mikroorganisme dan detritus.

Kedua jalur tersebut berfungsi dalam ekosistem. Jalur daur ulang 1 diharapkan dominan pada plankton dan komunitas lain dimana arus energi utama melalui rantai makanan perumputan. Sebaliknya jalur peredaran balik 2 dominan dipadang rumput, hutan iklim sedang dan komunitas lain, dimana jalur arus energi melalui jalur rantai makanan detritus. Jalur 3 melibatkan peredaran langsung dari tumbuhan ke tumbuhan melalui mikroorganisme simbiotik .



BAB VII SPESIES DAN INDIVIDU DALAM EKOSISTEM

Ekologi umumnya mempertimbangkan untuk meningkatkan kekayaan spesies ekosistem produktivitas, stabilitas, dan ketahanan. Hasil dari lapangan jangka panjang eksperimen menunjukkan bahwa meskipun kekayaan spesies dan hasil persaingan antarspesies dapat menyebabkan fluktuasi spesies individu populasi, keragaman cenderung meningkatkan stabilitas produktif ekosistem secara keseluruhan. Perubahan dalam produksi biomassa oleh beberapa spesies yang terkait dengan perubahan berbeda dalam produksi biomassa spesies lain. Dengan kata lain, sejumlah besar spesies bertindak sebagai penyangga terhadap produktivitas pengurangan dalam setiap satu spesies.

Beberapa komponen keanekaragaman spesies menentukan efek dalam ekosistem yang sebenarnya. Ini termasuk jumlah spesies, mereka kelimpahan relatif, spesies tertentu sekarang, interaksi di antara spesies, dan variasi spasial dan temporal. Saat ini pengetahuan tentang konsekuensi dari keanekaragaman hayati kerugian dalam ekosistem sebenarnya terbatas, terutama ketika mempertimbangkan besar perubahan ekosistem dan keanekaragaman hayati.

Kepunahan spesies adalah contoh paling konkret hilangnya keanekaragaman hayati. Suatu spesies menjadi punah bila anggota terakhir mati. Sebuah spesies menjadi punah di alam liar saat satu satunya milik individu-individu hidup spesies yang dipelihara dalam lingkungan yang tidak alami, seperti kebun binatang.

Teori ekologi menunjukkan bahwa beberapa faktor yang berkontribusi pada kerentanan spesies tertentu. Spesies yang paling rentan terhadap kepunahan meliputi organisme besar; spesies tinggi makanan; spesies dengan rentang populasi kecil atau populasi ukuran; spesies yang telah berevolusi dalam isolasi; spesies dengan sedikit pengalaman gangguan; spesies dengan penyebaran miskin atau penjajahan kemampuan; migrasi spesies, dan spesies bersarang atau mereproduksi dalam koloni.

A. KONSEP HABITAT DAN RELUNG EKOLOGI (*NICHE*)

Habitat organisme ialah tempat dimana organisme hidup atau tempat dimana manusia dapat menemukan organisme tersebut. Relung ekologi (*ecological niche*) sebaliknya merupakan terminologi yang lebih inklusif, yang tidak hanya meliputi ruang atau tempat yang ditinggali organisme, tetapi juga perannya dalam komunitas, misalnya kedudukan pada jenjang (trofik) makanan dan posisinya pada gradien lingkungan : temperatur, kelembaban, pH, tanah, dan kondisi lain yang ada.

Tiga aspek relung ekologi, antara lain :

1. Relung habitat (*spatial nich, habitat niche*)

2. Relung jenjang makanan (*trofik niche*)
3. Relung multidimensional (*multidimensional niche, hypervolume niche*)

Relung ekologi suatu organisme tidak hanya tergantung dimana organisme tadi hidup, tetapi juga pada apa yang dilakukan organisme (bagaimana organisme mengubah energi, bertingkah laku, bereaksi, mengubah lingkungan fisik maupun biologi) dan bagaimana organisme dihambat oleh spesies lain.

Analoginya : habitat organisme = alamat

relung organisme = profesi (jabatan)

Habitat dapat juga berarti tempat hidup komunitas. Dalam hal ini habitat meliputi hanya lingkungan abiotik. Tetapi dapat juga habitat melibatkan lingkungan biotik maupun abiotik, misalnya habitat tanaman *Trillium* adalah di tempat lembab dan teduh pada hutan hujan.

Konsep relung (*niche*) dikembangkan oleh Charles Elton (1927) ilmuwan Inggris, dengan pengertian “status fungsional suatu organisme dalam komunitas tertentu”. Dalam penelaahan suatu organisme, kita harus mengetahui kegiatannya, terutama mengenai sumber nutrisi dan energi, kecepatan metabolisme dan tumbuhnya, pengaruh terhadap organisme lain bila berdampingan atau bersentuhan, dan sampai seberapa jauh organisme yang kita selidiki itu mempengaruhi atau mampu mengubah berbagai proses dalam ekosistem.

Relung (*niche*) adalah posisi atau status suatu organisme dalam suatu komunitas dan ekosistem tertentu, yang merupakan akibat adaptasi struktural, tanggap fisiologis serta perilaku spesifik organisme itu. Jadi relung suatu organisme bukan hanya ditentukan oleh tempat organisme itu hidup, tetapi juga oleh berbagai fungsi yang dimilikinya. Dapat dikatakan, bahwa secara biologis, relung adalah profesi atau cara hidup organisme dalam lingkungan hidupnya.

Pengetahuan tentang relung suatu organisme sangat perlu sebagai landasan untuk memahami berfungsinya suatu komunitas dan ekosistem dalam habitat utama. Untuk dapat membedakan relung suatu organisme, maka perlu diketahui tentang kepadatan populasi, metabolisme secara kolektif, pengaruh faktor abiotik terhadap organisme, pengaruh organisme yang satu terhadap yang lainnya.

Banyak organisme, khususnya hewan, mempunyai tahap-tahap perkembangan hidup yang nyata, secara beruntun menduduki relung yang berbeda. Umpamanya jentik-jentik nyamuk hidup dalam habitat perairan dangkal, sedangkan yang sudah dewasa menempati habitat dan relung yang samasekali berbeda.

Relung atau *niche* burung adalah pemakan buah atau biji, pemakan ulat atau semut, pemakan ikan atau kodok. *Niche* ada yang bersifat umum dan spesifik. Misalnya ayam termasuk mempunyai *niche* yang umum karena dapat memakan cacing, padi, daging, ikan, rumput dan lainnya. Ayam merupakan *polifag*, yang berarti makan banyak jenis. Makan beberapa jenis disebut *oligofag*, hanya makan satu jenis disebut *monofag* seperti wereng, hanya makan padi.

Apabila terdapat dua hewan atau lebih mempunyai *niche* yang sama dalam satu habitat yang sama maka akan terjadi persaingan. Dalam persaingan yang ketat, masing-masing jenis mempertinggi efisiensi cara hidup, dan masing-masing akan menjadi lebih spesialis yaitu relungnya menyempit. Akan tetapi bila populasi semakin meningkat, maka persaingan antar individu di dalam jenis tersebut akan terjadi pula. Dalam persaingan ini individu yang lemah akan terdesak ke bagian *niche* yang marginal. Sebagai efeknya ialah melebarnya relung, dan jenis tersebut akan menjadi lebih generalis. Ini berarti jenis tersebut semakin lemah atau kuat. Makin spesialis suatu jenis semakin rentan makhluk tersebut.

Konsep relung (*nich*) merupakan konsep baru. Marilah kita tinjau analogi di atas : “ jika kita ingin berkenalan dengan seseorang, mula-mula kita harus tahu alamatnya, kemudian untuk mengenal lebih jauh kita juga harus tahu tentang kedudukan, minat, teman, perannya dalam lingkungan “

Demikian juga dengan organisme, mengenal habitatnya baru permulaan perkenalan. Untuk menentukan status organisme dalam lingkungan alamiahnya kita harus tahu aktivitas, makanan, sumber energi, metabolisme, pertumbuhan, dan pengaruhnya terhadap organisme sekitar serta kemampuannya mempengaruhi lingkungan hidupnya. Ukuran morfologi alat tubuh dapat dipakai sebagai indeks dalam membandingkan relung dari tanaman dan hewan.

Dalam penelitiannya, Van Valen mendapatkan bahwa panjang dan lebar paruh burung berkaitan erat dengan jenis makanannya dan ini

menggambarkan indeks lebar relung (*nich width*). Variasi koefisien dari lebar paruh ternyata dipengaruhi oleh luasnya relung (variasi habitat yang ditempati dan variasi makanan).

Dalam spesies yang sama, kompetisi akan sangat berkurang apabila tingkat-tingkat perkembangan mempunyai relung yang berbeda-beda misalnya berburu makan tanaman (herbivora) sedang katak dewasa insektivora. Perbedaan relung dapat juga terjadi antara seks jantan dan betina, misalnya burung pelatuk (*Dendrocopus*) jantan dan betina paruhnya tidak sama besar, menunjukkan bahwa kebiasaan makan yang berbeda, jadi relung berbeda. Pada relung dan banyaknya insekta, ukuran tubuh jantan dan betina berbeda, dimanan jantan lebih besar daripada yang betina karena itu relung juga berbeda.

B. EKUIVALEN EKOLOGI (*ECOLOGICAL EQUIVALENT*)

Organisme yang mendalami tempat yang sama atau relung ekologi yang sama pada daerah geografi yang berlainan disebut *ekuivalen ekologi*. Spesies dengan relung ekuivalen cenderung mempunyai kekerabatan secara taksonomik apabila terdapat pada tempat yang berdekatan tetapi sering tidak mempunyai kekerabatan taksonomi apabila terdapat pada tempat yang terpisah jauh satu sama lain.

Komposisi spesies komunitas sangat berbeda pada berbagai daerah geografi tetapi ekosistem yang serupa dapat berkembang dimanapun asalkan habitat fisiknya serupa, tidak peduli dengan letak geografisnya. Relung ekuivalen ekologi yang terdiri dari kelompok-kelompok biologi membentuk flora dan fauna dari daerah-daerah tersebut.

Tipe ekosistem pada padang rumput akan berkembang dimana terdapat iklim padang rumput, tidak peduli dengan daerah geografinya, tetapi spesies rumput-rumput dan pemakan rumput dapat berbeda apalagi jika tempatnya terpisah jauh. Contoh binatang padang rumput:

Tabel 7.1

Amerika Utara	Eurasia	Afrika	Australia
Bison	Saga antilop	Zebra	Kanguru
Proghorn antilop	Kuda liar	Macam-macam antilop	

Dikatakan : Kanguru Australia adalah ekuivalen ekologi dengan bison dan pronghorn antilop Amerika Utara

C. PENGANTIAN SIFAT (*CHARACTER DISPLACEMENT*) : SIMPATRY DAN ALLOPARTY

Spesies yang terdapat pada daerah geografi yang tidak sama atau terpisah oleh barrier disebut *allopatric*, sedangkan spesies yang terdapat pada daerah yang sama (tetapi relung tidak sama) disebut *sympatric*. Perbedaan pada spesies yang berkerabatan dekat sering bertambah jelas (yaitu *divergen*) pada populasi yang *sympatric* dan perbedaan berkurang (yaitu *convergen*) pada populasi yang *allopatric*. Proses evaluasi yang demikian dikenal sebagai perubahan sifat (*character displacement*). Brown dan Wilson menjelaskan fenomena perubahan sifat sebagai berikut:

“ Dua spesies yang berkerabatan mempunyai daerah habitat yang tumpang tindih. Pada daerah habitat yang tidak tumpang tindih (p dan q), populasi spesies A dan B sangat serupa bahkan mungkin sukar dibedakan. Pada daerah habitat yang tumpang tindih (r) dimana populasi spesies A dan B terdapat bersama-sama, populasi A dan B lebih divergen dan secara mudah dapat dibedakan karena mempunyai ciri yang berbeda, misalnya berbeda morfologi tingkah laku atau fisiologi. Perbedaan

morfologi misalnya pada paruh akan mengurangi tumpang tindih dalam relung makanan. Perbedaan tingkah laku akan mengurangi *interbreeding* (ingat Darwin Finches di kepulauan Galapagos) “

D. SELEKSI ALAM : PEMBENTUKAN SPESIES ALLOPATRIC DAN SYMPATRIC

Spesies merupakan unit biologi alamiah yang mempunyai gene pool yang sama atau spesies merupakan suatu system genetik yang tertutup. Spesies atau pembentukan spesies dan perkembangan macam spesies dapat terjadi apabila aliran gen dalam gene pool terhalang oleh suatu mekanisme isolasi. Jika isolasi terjadi karena pemisahan secara geografi, populasi turunan dari nenek moyang yang sama akan menghasilkan spesies baru yang allopatik (*allopatric speciation*).

Jika spesies terjadi karena halangan ekologi atau melalui faktor genetik pada daerah yang sama, maka akan dapat menghasilkan spesies baru yang simpatrik (*sympatric speciation*). Mekanisme timbulnya spesies baru terutama disebabkan adanya spesies allopatrik, yaitu jika dua kelompok populasi dari satu spesies yang dapat interbreeding kemudian terpisah karena adanya gunung api atau pulau, sehingga kedua kelompok tidak dapat interbreeding dan karena adanya adaptasi, lama-lama keduanya akan menjadi dua spesies baru.

Contoh :

Darwin's finches di kepulauan Galapagos yang mempunyai macam-macam bentuk paruh dan ukuran tubuh. Perbedaan bentuk

paruh dan menggambarkan perbedaan relung paruh bulat pemakan serangga, paruh tebal kuat pemakan biji, dan sebagainya.

- Contoh isolasi genetika pada tanaman ialah :

Poliploid (kromosom lebih dari $2n$) akan menghambat terjadinya hibridasi.

- Contoh adanya seleksi alam yang cepat adalah :

Apa yang dikenal dengan industrial melanism atau penghitaman industri yaitu berkembangnya kupu-kupu berwarna hitam akibat lingkungan, hitam menjadi dominant karena asap pabrik yang dapat membunuh *Lichens* yang memberi warna keputihan pada batang pohon. Hilangnya lichens menyebabkan warna keputihan pada menghilang dan warna hitam menjadi dominan, akibatnya kupu-kupu putih terkena seleksi oleh predator karena terlihat lebih nyata.

E. SELEKSI BUATAN (ARTIFICIAL SELECTION)

Seleksi yang dilakukan manusia dengan tujuan adaptasi tanaman dan hewan untuk kepentingannya disebut seleksi buatan. Domestikasi tanaman dan hewan tidak hanya melibatkan domestikasi genetika dari spesies, karena adaptasi timbal balik antara spesies peliharaan dan pemelihara (domestikator) yang biasanya manusia.

Pada peristiwa domestikasi sebetulnya terjadi dua jalur saling mempengaruhi, yang dapat membawa perubahan (ekologi dan sosial, bahkan genetika) pada manusia maupun organisme yang dipelihara. Seperti halnya jagung dan manusia, dimana jagung tergantung pada manusia, tetapi sebaliknya manusia juga tergantung pada jagung. Masyarakat yang tergantung pada jagung akan mempunyai

kebudayaan yang berlainan dengan masyarakat yang bergantung pada ternak. Sehingga timbul pertanyaan “ siapa yang menjadi budak siapa?” hal yang sama antara manusia dengan mesin.

Domestika merupakan tipe hubungan mutualisme yang khas dan sangat penting karena dapat menyebabkan perubahan mendasar pada ekosistem. Manusia dan sapi akan dapat menghancurkan lingkungan dengan penggembalan yang berlebihan kecuali hubungannya terjadi mutualisme dan bukan eksploitasi. Juga beberapa masalah besar dan buruk timbul disebabkan karena domestika tanaman atau hewan yang terlepas ke alam bebas dan berubah menjadi hama.

F. JAM BIOLOGI (BIOLOGICAL CLOCK)

Yang dimaksud dengan jam biologi (*biological clock*) ialah kemampuan organisme untuk mengukur waktu fisiologinya. Yang paling umum ialah manifestasi *circadian rhythm* (irama harian, circa: kira-kira ; dies : hari) atau kemampuan untuk mengulangi kejadian setiap 24 jam walaupun tanpa petunjuk cahaya matahari. Kejadian lain ialah yang berkaitan dengan periodisitas bulan (yang mengatur pasang surut) dan daur musiman.

Organisme-organisme mempunyai mekanisme secara fisiologik untuk mengukur waktu, yang dikenal sebagai jam biologi (*biological clock*). Secara umum jam biologi harian adalah kemampuan untuk menentukan waktu dan mengulangi fungsi-fungsi pada setiap interval 24 jam sekalipun dalam keadaan tanpa tergantung adanya tanda-tanda faktor fisik seperti cahaya matahari. Jam biologi juga dikaitkan

dengan periodisitas-periodisitas yang berhubungan dengan bulan dan daur-daur musiman.

Adanya "kemampuan-kemampuan" tertentu yang dianggap bersifat menguntungkan dari suatu organisme, mengundang organisme tersebut didomestikasi ke tempat yang diperkirakan cocok. Banyak di antara organisme yang didomestikasi akhirnya dibudidayakan dan lambat laun mengalami suatu perubahan sehingga bisa saja akhirnya berlainan dengan sifat aslinya

Pada peristiwa domestikasi, baik pada hewan ataupun tanaman tidak hanya sekedar melibatkan domestikasi genetik dari suatu spesies, melainkan juga adanya "adaptasi timbal balik" antara spesies yang didomestikasi dengan pemelihara (domestikator) yang biasanya manusia. Sehingga sebetulnya pada peristiwa ini terjadi dua jalur yang saling mempengaruhi yang dapat saja membawa atau mengarah pada perubahan (ekologi dan sosial, bahkan genetik) pada manusia maupun organisme yang dipeliharanya. Meskipun demikian, apabila upaya domestikasi dilakukan dengan kurang perhitungan dan ceroboh justru akan menimbulkan masalah besar, dengan lepas dan tidak terkontrolnya organisme yang didomestikasi ke alam bebas dan berubah menjadi hama.

Ada dua teori mengenai mekanisme jam biologi :

1. *Hipotesis waktu endogen* yaitu jam terdapat dalam tubuh organisme dan dapat mengukur waktu tanpa petunjuk lingkungan.

2. *Hipotesis waktu eksternal* yaitu jam terdapat dalam tubuh organisme yang terjadinya diatur oleh tanda-tanda dari lingkungan.

Bagaimana pun mekanisme keuntungan jam biologi tidak diragukan karena dapat menggabung ritme lingkungan dengan fisiologik organisme untuk membuat antisipasi harian, musiman, dan perioditas lain berdasarkan cahaya, temperature atau pasang surut.

Contoh:

1. Ritme harian (*circadian rhytem*) : hewan malam (*nocturnal*) dan hewan siang (*diurnal*). Bila binatang malam ditaruh dalam laboratorium yang terus gelap maka ritme harian tetap berjalan hanya tidak 24 jam tetapi ada sedikit perbedaan. Perubahan temperatur hanya mempunyai pengaruh sedikit terhadap ritme harian.
2. Migrasi ikan dan burung.
3. Daur tidur sore hari (*niktinasti*).

G. POLA DASAR TINGKAH LAKU (*BASIC BEHAVIORAL PATTERNS*)

Tingkah laku dapat dianggap sebagai suatu komplek 8 komponen dimana nilai pentingnya bervariasi tergantung kepada organisme :

- a) Tropisme
- b) Taksis
- c) Reflek
- d) Insting
- e) Belajar (*learning*)
- f) Alasan (*reasoning*)

Tropisme terjadi pada organisme tanpa sistem saraf sedangkan taksis, reflek, insting, belajar dan alasan terjadi pada organisme dengan sistem saraf. Tingkah laku organisme akan mempengaruhi populasi pemilihan habitat, agregasi, interaksi pemangsa-mangsa, dan sebagainya.

- Tropisme:

Gerak *Tropisme* adalah gerak bagian tumbuhan yang arah geraknya dipengaruhi oleh arah datangnya rangsangan. *Tropisme* berasal dari bahasa Yunani, yaitu *trope*, yang berarti membelok. Bila gerakannya mendekati arah rangsangan disebut *tropisme* positif sedangkan jika gerak responnya menjauhi arah datangnya rangsangan disebut *tropisme* negatif.

Contoh:

- a. gerak batang tumbuhan ke arah cahaya,
- b. gerak akar tumbuhan ke pusat bumi,
- c. gerak akar menuju air, dan
- d. gerak membelitnya ujung batang atau sulur pada jenis

tumbuhan bersulur.

- Taksis:

Taksis merupakan gerak perpindahan tempat sebagian atau seluruh tumbuhan akibat adanya rangsangan. Gerak taksis umumnya terjadi pada tumbuhan tingkat rendah. Gerak taksis dibagi menjadi dua macam yaitu :

1. Fototaksis

Taksis yang disebabkan oleh rangsangan cahaya disebut fototaksis. Gerak fototaksis terjadi pada ganggang hijau *Chlamydomonas* yang langsung menuju cahaya yang intensitasnya sedang. Tetapi bila intensitas cahaya meningkat, maka akan tercapai batas tertentu dimana justru *Chlamydomonas* dengan tiba-tiba akan berbalik arah dan berenang menjauhi cahaya. Dengan demikian terjadi perubahan yang semula gerak fototaksis positif kemudian menjadi gerak fototaksis negatif. Hal ini dapat terjadi karena adanya perubahan intensitas cahaya, yaitu tumbuhan akan mendekati cahaya sebelum melebihi batas toleransinya dan akan menjauhi bila telah melebihi batas toleransinya.

2. Kemotaksis

Selain sinar ada pula zat lain yang mampu berfungsi sebagai rangsang gerak taksis. Bakteri oksigen pada umumnya bergerak ke tempat-tempat yang menghasilkan atau banyak mengandung oksigen. Contoh gerak taksis terjadi juga pada sel gamet tumbuhan lumut. Spermatozoid pada arkegonium juga bergerak karena tertarik oleh sukrosa atau asam malat. Pergerakan ini terjadi karena adanya zat kimia pada sel gamet betina. Taksis yang disebabkan oleh zat kimia seperti ini disebut kemotaksis.

- Insting

Naluri atau **insting** adalah suatu pola perilaku dan reaksi terhadap suatu rangsangan tertentu yang tidak dipelajari tapi telah ada sejak

kelahiran suatu makhluk hidup dan diperoleh secara turun-temurun (filogenetik). Insting juga merupakan tingkah laku stereotype seperti membuat sarang, mengumpulkan makanan, kawin, melindungi keturunan, didapat tanpa dipelajari.

- Belajar dan alasan

Berkaitan dengan besarnya otak terutama *cerebral cortex* (otak besar bagian kulit) pada primate.



BAB VIII SUKSESI

A. SUKSESI EKOLOGI

Perkembangan ekosistem atau yang dikenal dengan *suksesi ekologi* dapat digambarkan dengan tiga parameter berikut:

- a. Merupakan proses perkembangan komunitas yang melibatkan perubahan dalam struktur spesies dan proses dalam komunitas dalam kaitannya dengan waktu dan arah perkembangannya dapat diduga.
- b. Merupakan hasil modifikasi lingkungan fisik oleh komunitas. Jadi suksesi adalah pengaturan komunitas, dengan catatan lingkungan fisik menentukan pola kecepatan perubahan dan membatasi sampai dimana komunitas dapat berkembang.
- c. Akhirnya sampai puncak ekosistem dimana biomasa maksimum dan fungsi simbiose dipertahankan.

Urutan dari komunitas yang saling mengganti pada suatu daerah disebut *sere*. Komunitas transisi disebut tingkat *sere* (*seral stage*) atau tingkat perkembangan atau tingkat pemula (*pioneer stage*). Sedangkan sistem terakhir yang stabil disebut *klimaks*.

Penggantian spesies dalam *sere* terjadi karena kecenderungan populasi untuk mengubah atau memodifikasi lingkungan fisik sehingga

keadaannya nyaman untuk populasi lainnya dan akhirnya dapat tercapai keseimbangan antara lingkungan biotik dan abiotik.

1. Bionergetik Perkembangan Ekosistem

Pada tahap awal suksesi ekologi kecepatan produksi primer atau total fotosintesis (P) melampaui kecepatan respirasi komunitas (R) sehingga P/R lebih besar 1. Selama P lebih besar R terjadi penambahan biomasa B.

Jika $P/R < 1$ disebut suksesi heterotropik

Jika $P/R > 1$ disebut suksesi autotropik

DINAMIKA EKOSISTEM
EKOSISTEM TUMBUH DAN BERKEMBANG (BERUBAH) AKIBAT DARI
PERUBAHAN KESEIMBANGAN INTERAKSI ANTAR KOMPONEN
PERUBAHAN LINGKUNGAN SECARA LAMBAT (EVOLUSI LINGKUNGAN)



SUKSESI

SUKSESI PRIMER

TERJADI PADA LINGKUNGAN PERAWAN, BARU TERBENTUK ATAU BELUM ADA REKAYASA (CONTOH: DELTA)

SUKSESI SEKUNDER

TERJADI PADA LINGKUNGAN YANG TELAH TERREKAYASA

Gambar 8.1. Keterkaitan dinamika ekosistem dan suksesi

2. Diversitas dan Suksesi

Dengan perkembangannya tingkat suksesi maka varietas spesies makin banyak tetapi dominansinya satu spesies terhadap

lainnya makin menurun. Makin besar ukuran organisme, makin panjang umumnya dan makin kompleks daur hidupnya mengakibatkan bertambah besarnya kompetisi interspesifik akan menyebabkan kecenderungan menurunnya jumlah spesies yang dapat mendiami suatu daerah. Pada tahapan *bloom* populasi ukuran organisme cenderung kecil dan daur hidup sederhana serta perkembangannya cepat. Kenaikan macam spesies dalam suksesi dipengaruhi oleh kenaikan biomassa dan kenaikan kompetensi.

Menurut Margalef (1963) jumlah spesies naik sampai pada pertengahan suksesi dan kemudian menurun sampai pada klimaks. Diversitas genetik mencakup variasi dalam material genetik, seperti gen dan khromosom. Diversitas spesies (taksonomi) kebanyakan diinterpretasikan sebagai variasi di antara dan di dalam spesies (termasuk spesies manusia), mencakup variasi satuan taksonomi seperti filum, famili, genus dsb.

Diversitas genetik merupakan titik awal dalam memahami dimensi dari isu biodiversitas, tetapi pada level spesies dan ekosistem bidang kehutanan memiliki pengaruh besar.

Diversitas ekosistem atau bahkan dinamakan diversitas biogeografik berkaitan dengan variasi di dalam wilayah (region) biogeografik, bentang alam (*landscape*) dan habitat. Kita harus menyadari bahwa biodiversitas selalu peduli dengan variabilitas makhluk hidup dalam area atau wilayah yang spesifik.

3. Tekanan Suksesi: Jumlah Melawan Kualitas

Spesies dengan kecepatan reproduksi dan pertumbuhan tinggi lebih dapat berkembang pada tahap awal tetapi sebaliknya pada tahap akhir dengan adanya tekanan seleksi, spesies dengan potensi pertumbuhan rendah tetapi dengan adanya kompetisi besar akan lebih untung dan lebih dapat bertahan.

Komunitas yang terdiri dari berbagai populasi bersifat dinamis dalam interaksinya yang berarti dalam ekosistem mengalami perubahan sepanjang masa. Perkembangan ekosistem menuju kedewasaan dan keseimbangan dikenal sebagai *suksesi ekologis* atau *suksesi*.

Suksesi terjadi sebagai akibat dari modifikasi lingkungan fisik dalam komunitas atau ekosistem. Proses suksesi berakhir dengan sebuah komunitas atau *ekosistem klimaks* atau telah tercapai keadaan seimbang (*homeostatis*).

Di alam ini terdapat dua macam suksesi, yaitu suksesi primer dan suksesi sekunder.



Gambar 8.2. Suksesi primer dan suksesi sekunder

a. Suksesi primer

Suksesi primer terjadi bila komunitas asal terganggu. Gangguan ini mengakibatkan hilangnya komunitas asal tersebut secara total sehingga di tempat komunitas asal terbentuk habitat baru. Gangguan ini dapat terjadi secara alami, misalnya tanah longsor, letusan gunung berapi, endapan lumpur yang baru di muara sungai, dan endapan pasir di pantai. Gangguan dapat pula karena perbuatan manusia misalnya penambangan timah, batubara, dan minyak bumi.

Contoh yang terdapat di Indonesia adalah terbentuknya suksesi di Gunung Krakatau yang pernah meletus pada tahun 1883. Di daerah bekas letusan gunung Krakatau mula-mula muncul pioner berupa lumut kerak (liken) serta tumbuhan lumut yang tahan terhadap penyinaran matahari dan kekeringan. Tumbuhan perintis itu mulai mengadakan pelapukan pada daerah permukaan lahan, sehingga terbentuk tanah sederhana. Bila tumbuhan perintis mati maka akan mengundang datangnya pengurai. Zat yang terbentuk karna aktivitas penguraian bercampur dengan hasil pelapukan lahan membentuk tanah yang lebih kompleks susunannya. Dengan adanya tanah ini, biji yang datang dari luar daerah dapat tumbuh dengan subur. Kemudian rumput yang tahan kekeringan tumbuh. Bersamaan dengan itu tumbuhan herba pun tumbuh menggantikan tanaman pioner dengan

menaunginya. Kondisi demikian tidak menjadikan pioner subur tapi sebaliknya.

Sementara itu, rumput dan belukar dengan akarnya yang kuat terus mengadakan pelapukan lahan. Bagian tumbuhan yang mati diuraikan oleh jamur sehingga keadaan tanah menjadi lebih tebal. Kemudian semak tumbuh. Tumbuhan semak menaungi rumput dan belukar maka terjadilah kompetisi. Lama kelamaan semak menjadi dominan kemudian pohon mendesak tumbuhan belukar sehingga terbentuklah hutan. Saat itulah ekosistem disebut mencapai kesetimbangan atau dikatakan ekosistem mencapai klimaks, yakni perubahan yang terjadi sangat kecil sehingga tidak banyak mengubah ekosistem itu.

b. Suksesi Sekunder

Suksesi sekunder terjadi bila suatu komunitas mengalami gangguan, baik secara alami maupun buatan. Gangguan tersebut tidak merusak total tempat tumbuh organisme sehingga dalam komunitas tersebut substrat lama dan kehidupan masih ada. Contohnya, gangguan alami misalnya banjir, gelombang laut, kebakaran, angin kencang, dan gangguan buatan seperti penebangan hutan dan pembakaran padang rumput dengan sengaja.

Contoh komunitas yang menimbulkan suksesi di Indonesia antara lain tegalan-tegalan, padang alang-alang, belukar bekas ladang, dan kebun karet yang ditinggalkan tak terurus.

Suksesi tumbuhan adalah penggantian suatu komunitas tumbuh-tumbuhan oleh yang lain. Hal ini dapat terjadi pada tahap integrasi lambat ketika tempat tumbuh mula-mula sangat keras sehingga sedikit tumbuhan dapat tumbuh di atasnya, atau suksesi tersebut dapat terjadi sangat cepat ketika suatu komunitas dirusak oleh suatu faktor seperti api, banjir, atau epidemi serangga dan diganti oleh yang lain. (Daniel *et al.*, 1992).

Perubahan bersifat kontinu, rentetan suatu perkembangan komunitas yang merupakan suatu sera dan mengarah ke suatu keadaan yang mantap (stabil) dan permanen yang disebut klimaks. Tansley (1920) mendefinisikan suksesi sebagai perubahan tahap demi tahap yang terjadi dalam vegetasi pada suatu kecendrungan daerah pada permukaan bumi dari suatu populasi berganti dengan yang lain. Clements (1916) membedakan enam sub-komponen : (a) nudation; (b) migrasi; (c) excessis; (d) kompetisi; (e) reaksi; (f) final stabilisasi, klimaks. Uraian Clements mengenai suksesi masih tetap berlaku. Bagaimanapun sesuatu mungkin menekankan subproses yang lain, contohnya perubahan angka dalam populasi merubah bentuk hidup integrasi atau perubahan dari genetik adaptasi populasi dalam aliran evolusi.

Suksesi sebagai suatu studi orientasi yang memperhatikan semua perubahan dalam vegetasi yang terjadi pada habitat sama dalam suatu perjalanan waktu (Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974). Selanjutnya dikatakan bahwa suksesi ada dua tipe, yaitu suksesi primer dan suksesi sekunder. Perbedaan dua tipe suksesi ini terletak pada kondisi habitat

awal proses suksesi terjadi. Suksesi primer terjadi bila komunitas asal terganggu. Gangguan ini mengakibatkan hilangnya komunitas asal tersebut secara total sehingga di tempat komunitas asal, terbentuk habitat baru. Suksesi sekunder terjadi bila suatu komunitas atau ekosistem alami terganggu baik secara alami atau buatan dan gangguan tersebut tidak merusak total tempat tumbuh organisme sehingga dalam komunitas tersebut substrat lama dan kehidupan masih ada.

Laju pertumbuhan populasi dan komposisi spesies berlangsung dengan cepat pada fase awal suksesi, kemudian menurun pada perkembangan berikutnya. Kondisi yang membatasi laju pertumbuhan populasi dan komposisi spesies pada tahap berikutnya adalah faktor lingkungan yang kurang cocok untuk mendukung kelangsungan hidup permudaan jenis-jenis tertentu (Marsono dan Sastrosumarto, 1981).

B. KONSEP KLIMAKS

Komunitas akhir yang stabil dari sera adalah *Komunitas Klimaks*. Suatu komunitas klimaks dapat mengatur dirinya sendiri dan dalam keseimbangan dengan habitat fisik.

Berlawanan dengan komunitas dalam perkembangan maka pada komunitas klimaks tidak terdapat penumpukan zat organik netto komunitas tahunan. Hal ini disebabkan karena produksi tahunan komunitas seimbang dengan konsumsi tahunan.

Untuk suatu daerah tertentu dapat dikenal:

- a. *Single climatic climax* dimana terdapat keseimbangan dengan iklim umum daerah tersebut.

b. *Sejumlah edaphic climax* yang tergantung pada kondisi lokal dari daerah.

Climatic climax merupakan komunitas teoritis yang dituju oleh semua suksesi dalam perkembangan pada suatu daerah asalkan keadaan lingkungan fisik tidak begitu berpengaruh terhadap iklim lingkungan. Umumnya suksesi akan berakhir pada suatu *edaphic climax* dimana topografi, tanah, air, api, dan gangguan lain menyebabkan *climatic climax* tunggal tidak dapat berkembang.

Berdasarkan ide *klimak tunggal* setiap daerah hanya mempunyai satu klimak di mana semua komunitas akan menuju ke sana meskipun lambat.

Menurut ide *klimak jamak/poliklimak* tidak realistis untuk dianggap bahwa suatu komunitas dalam daerah iklim tertentu akan berakhir dalam keadaan yang sama bila keadaan habitat fisiknya kurang lebih sama.

Suatu kompromi terhadap kedua pandangan tadi adalah mengenal adanya *climatic climax* tunggal secara teoritis dan sejumlah *edaphic climax* yang tergantung pada variasi dari habitat fisik. Dengan kata lain suatu daerah akan ada secara teoritis satu *climatic climax* yang stabil akan tetapi daerah tersebut mungkin mempunyai penyimpanan-penyimpanan dari keadaan tadi misalnya substrat, temperatur, angin, cahaya matahari sehingga dapat menimbulkan beberapa *edaphic climax*.

Apabila suatu komunitas stabil untuk suatu tempat akan tetapi bukan *climatic climax* atau *edaphic climax* melainkan terbentuk karena

karya manusia atau hewan maka disebut klimak yang terganggu (*disclimax*) atau klimak buatan manusia (*anthropogenic subclimax*). Contoh penggembalaan hewan-hewan yang berlebihan dapat menghasilkan komunitas pada pasir dimana iklim lokal sebenarnya akan membentuk komunitas pada rumput. Komunitas padang pasir ini merupakan *disclimax* dari padang rumput bayangan merupakan *climatic climax*.

Komunitas padang pasir jenis ini merupakan bukti pengelolaan yang jelek dari manusia. Karena apabila suatu komunitas padang pasir pada suatu daerah dengan iklim padang pasir merupakan hal yang wajar.

Ekosistem perkebunan (agricultural) yang telah dipertahankan (distabilkan) dalam jangka yang lama dapat dianggap suatu *climax* (*disclimax*). Malangnya banyak sistem pertanian didaerah tropis dan padang pasir yang diairi sama sekali tidak stabil karena selalu terancam erosi, pencucian zat hara, penimbunan garam-garam dan gangguan serangga serta penyakit.

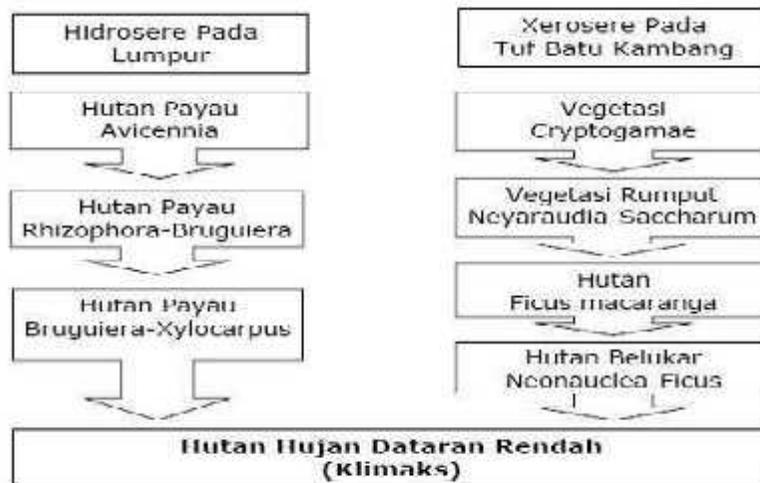
C. EKOSISTEM LESTARI

Spesies beradaptasi terhadap satu sama lain dan terhadap komunitasnya, membentuk relung (*niches*). Pengembangan struktur yang lebih kompleks memungkinkan jumlah spesies yang lebih banyak hidup berdampingan satu sama lain. Peningkatan dalam kekayaan spesies dan kompleksitas bertindak sebagai penyangga komunitas dari cekaman lingkungan dan bencana, sehingga lebih stabil.

Pada beberapa lingkungan, suksesi mencapai apa yang disebut klimaks, menghasilkan komunitas yang stabil didominasi oleh beberapa spesies yang menonjol. Tingkatan keseimbangan ini disebut komunitas klimaks, merupakan hasil dari jejaring interaksi biotik yang sedemikian rumit. Contohnya adalah hutan hujan tropis yang mengandung ratusan spesies per hektarnya.

Hubungan antara diversitas spesies dan stabilitas komunitas memberikan penjelasan pentingnya menjaga kekayaan sebesar mungkin dalam komunitas biologi. Suatu hutan mengandung spesies yang belum lama diintroduksi berbeda dengan spesies lokal dengan jejaring interaksi yang kaya yang telah beradaptasi satu sama lain. Komunitas tak terganggu yang kaya akan spesies memiliki ketahanan untuk melanjutkan berfungsinya ekosistem.

Soerianegara dan Indrawan (1988) menyebutkan dalam pembentukan klimaks terjadi 2 perbedaan pendapat yakni; paham monoklimaks dan paham polyklimaks. Paham monoklimaks beranggapan bahwa pada suatu daerah iklim hanya ada satu macam klimaks, yaitu formasi atau vegetasi klimaks iklim saja. Ini berarti klimaks merupakan pencerminan keadaan iklim, karena iklim merupakan faktor yang paling stabil dan berpengaruh.



Skema Terjadinya Vegetasi Klimaks Paham Monoklimaks (Soerianegara dan Indrawan, 1988)

Gambar 8.3. Skema terjadinya vegetasi klimaks

Paham polyklimaks mempunyai anggapan bahwa tidak hanya faktor iklim saja, seperti sinar matahari, suhu udara, kelembaban udara dan presipitasi, yang dapat menimbulkan suatu klimaks. Penganut paham ini sebaliknya berpendapat bahwa ada faktor lain yang juga dapat menyebabkan terjadinya klimaks, yaitu edafis dan biotis. Faktor edafis timbul karena pengaruh tanah seperti komposisi tanah, kelembaban tanah, suhu tanah dan keadaan air tanah. Sedangkan biotis adalah faktor yang disebabkan oleh manusia atau hewan, misalnya padang rumput dan sabana tropika. Untuk golongan poliklimaks hutan mangrove merupakan suatu klimaks tersendiri, yakni klimaks edafis dengan kondisi tanah yang khusus.

BAB IX

FAKTOR PEMBATAS DAN FAKTOR FISIK LINGKUNGAN

Semua organisme besar ataupun kecil, tanaman ataupun binatang termasuk manusia, tergantung pada lingkungan di atas habitatnya. Mereka tumbuh dan berkembang di dalam lingkungan yang cocok. Lingkungan yang sehat untuk perkembangan beberapa organisme mengikuti kondisi : tempat untuk tumbuh dan berkembang, udara yang segar dan cukup jumlahnya, air untuk transport nutrisi dan pembentuk makanan, garam-garam mineral untuk membangun badan, dan enersi untuk proses kehidupan.

Di dunia ini ada dua habitat, yaitu habitat daratan dan habitat perairan. Yang kita ketahui, karena keadaannya berbeda maka jumlah dan kualitas penghuninya juga berbeda. Lingkungan merupakan kompleks faktor-faktor dan suasana di suatu tempat merupakan hasil kerjasama antara faktor-faktor tersebut.

Secara garis besar, faktor-faktor tersebut dibagi dua yaitu: faktor biotik - abiotik tetapi secara terperinci faktor-faktor tersebut dibagi menjadi 7 bagian ialah: tanah, air, suhu, cahaya, atmosfer, api, dan biotik.

Meskipun lingkungan merupakan sistem yang kompleks dan sangat besar peranannya dalam kehidupan tetapi kehidupan itu tidak

sepenuhnya menggantungkan pada lingkungan hidupnya, antara lain karena banyak kehidupan yang mampu memodifikasi lingkungan sehingga cocok untuk hidupnya atau organisme itu berusaha sedemikian rupa menyesuaikan diri dengan lingkungan itu.

Lingkungan di suatu tempat bersifat dinamis, biasanya semakin menjauhi daerah tropika (semakin dekat ke kutub) dinamika lingkungan semakin besar. Untuk mengatasi lingkungan yang tidak menguntungkan pada tumbuhan antara lain ada beberapa cara : adaptasi, modifikasi, mutasi, dan evolusi. Akhirnya semua proses tersebut menyebabkan adanya hubungan yang spesifik sehingga sering ditemukan organisme yang khas di lingkungan tertentu, yang kemudian disebut Ekotipe. Jadi lingkungan dan organisme mempunyai hubungan timbal balik.

A. ASAS-ASAS FAKTOR LINGKUNGAN

1. Azas faktor pembatas yang lebih dikenal dengan Hukum Minimum Leibig : Organisme akan terhambat pertumbuhannya bila salah satu faktor keperluan hidupnya tersedia dalam keadaan minimum. Bila faktor ini ditambah maka pertumbuhan akan dipacu. Selain batas minimum, ternyata juga ada batas maksimum dan ada pula optimumnya.

Atas dasar itu VE Shelrord (1913) menyatakan “hukum toleransi”.

- a. Organisme dapat mempunyai kisaran toleransi yang luas untuk satu faktor dan sempit untuk faktor yang lain.
- b. Organisme dengan kisaran toleransi luas untuk semua faktor cenderung mempunyai sebaran yang luas.

- c. Bila keadaan optimum untuk suatu jenis faktor tak tercapai, maka batas toleransi faktor yang lain dapat menyempit.
- d. Keadaan kompleks faktor-faktor dapat lebih penting dari pada faktor fisik tertentu yang optimum.
- e. Periode reproduksi merupakan periode kritis dan mempunyai toleransi yang sempit untuk semua faktor.

2. Azas Lingkungan yang Holocoenoti

Faktor-faktor lingkungan tidak berdiri sendiri, melainkan berkaitan. Tak mungkin merubah satu faktor tanpa mempengaruhi faktor yang lain. Holocoenotik menurut Karl Friedrich (Jerman) "Tak ada dinding pemisah di antara faktor-faktor lingkungan, dengan organisme (kelompok organisme). Ekosistem bereaksi sebagai satu kesatuan dan keseluruhan.

B. HUKUM MINIMUM LEIBIG

Untuk dapat bertahan hidup dalam keadaan tertentu organisme harus mendapat unsur- unsur esensial yang diperlukan untuk pertumbuhan dan reproduksi. Kebutuhan dasar ini bervariasi tergantung spesies dan keadaan. Dalam keadaan mantap unsur esensial yang tersedia dalam keadaan mendekati minimum cenderung faktor pembatas.

Leibig adalah seorang pioner dalam hal mempelajari pengaruh macam – macam faktor terhadap pertumbuhan tanaman. Menurutnya, hasil pertanian sering tidak hanya dipengaruhi nutrien yang diperlukan dalam jumlah besar misalnya karbondioksida dan air yang umumnya berlimpah di lingkungan, tetapi oleh unsur atau senyawa seperti boron

yang diperlukan dalam jumlah sedikit, yang keberadaannya di alam sangat sedikit/ jarang. Oleh karena itu, Hukum Leibig menyatakan:

“Pertumbuhan tanaman tergantung kepada zat senyawa yang berada dalam keadaan minimum”.

Peneliti lain memperluas pernyataan ini dengan melibatkan faktor – faktor lain antara lain temperatur.

Supaya hukum Leibig bermamfaat, harus ditambah:

“Apabila keadaan steady state, yaitu energi dan materi seimbang antara input dan output”.

Misalnya: Pada suatu danau kadar CO₂ merupakan faktor pembatas, maka produktivitas seimbang dengan kadar CO₂ yang tersedia apabila cahaya, nitrogen, dan air cukup tersedia. Apabila pada suatu tempat terjadi angin ribut, maka kadar CO₂ akan berubah diikuti oleh zat – zat lain, maka dalam keadaan ini produktivitas tidak hanya tergantung pada kadar CO₂ saja akan tetapi unsur – unsur lain yang keseimbangannya berubah.

Pada keadaan eutrofikasi kultural akan menciptakan keadaan yang tidak mantap yang mengakibatkan isolasi pada perkembangan populasi. Misalnya Blooming dari suatu spesies ganggang kemudian die off diikuti oleh Blooming dari spesies lain.

Dalam keadaan ini faktor pembatas tidak menentu karena kadar P, N₂, CO₂, pada lingkungan selalu berubah. Pertimbangan penting lain ialah zat yang diperlukan tidak ada.

Apabila Ca keadaannya langka dan tersedia banyak strontium, maka Molusca dapat mengganti Ca yang diperlukan dengan Sr.

Tanaman yang tumbuh ditempat teduh memerlukan Zn yang lebih sedikit dibanding dengan yang tumbuh ditempat yang terang.

C. HUKUM TOLERANSI SHELFORD

Keberadaan dan keberhasilan suatu organisme tergantung kepada kelengkapan dari keadaan yang kompleks. Kegagalan atau musnahnya organisme dapat dikendalikan oleh kekurangan atau kelebihan secara kualitatif atau kuantitatif dari salah satu faktor yang mendekati batas toleransi organisme tersebut. Faktor pembatas sebetulnya melibatkan keadaan kurang atau lebih misalnya temperatur, cahaya dan pH yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat merupakan faktor pembatas.

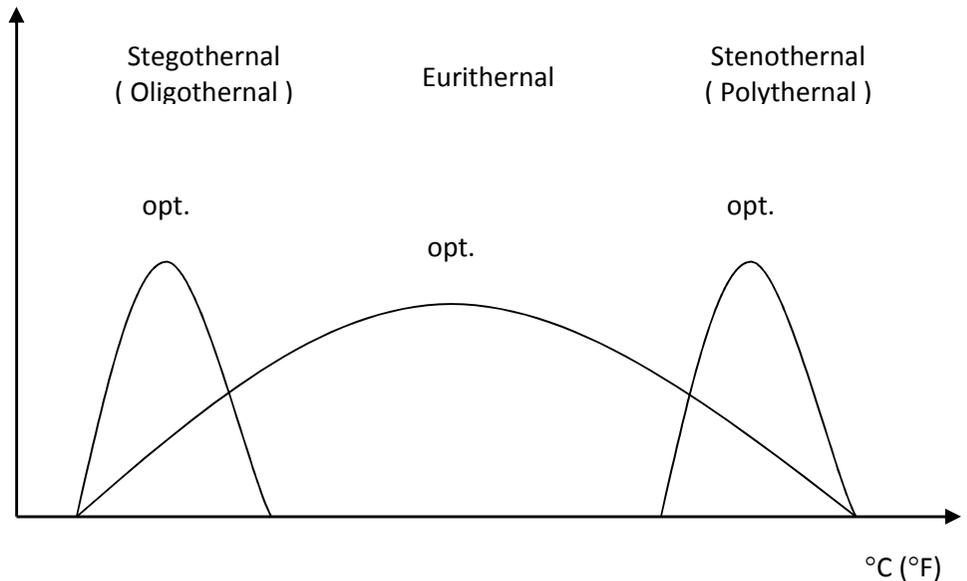
Organisme mempunyai batas maksimum dan minimum ekologi, yaitu mempunyai kisaran toleransi dan ini merupakan konsep hukum toleransi dari Shelford.

Beberapa asas tambahan terhadap hukum toleransi Shelford:

1. Organisme dapat mempunyai toleransi luas untuk suatu faktor dan sempit untuk faktor lain.
2. Organisme dengan kisaran toleransi luas untuk semua faktor penyebarannya.
3. Keadaan tidak optimum untuk suatu faktor dapat mempengaruhi toleransi terhadap faktor lain. Misalnya dalam keadaan kadar N_2 rendah, maka tanaman akan lebih peka terhadap kekeringan.
4. Organisme di alam banyak yang hidup dalam keadaan tidak optimum dan selalu dipengaruhi oleh beberapa faktor sekaligus.
5. Misalnya tanaman anggrek gtropis akan tumbuh lebih baik pada cahaya langsung asalkan temperatur tetap dingin. Di alam anggrek

tropis tumbuh ditempat teduh karena tidak tahan oleh efek panas akibat cahaya langsung. Dalam banyak hal interaksi antar populasi

Aktivitas Pertumbuhan



(kompetisi, parasit, predator) mencegah organisme untuk dapat hidup pada keadaan yang optimum.

6. Umumnya periode reproduksi (embrio, kecambah, larva) peka terhadap faktor fisik yang minimum.
7. Untuk menyatakan derajat toleransi sering dipakai istilah : steno untuk sempit dan euri untuk luas.

Contoh :

Stenothermal – eurithernal → temperatur/ suhu

Stenohydric – eurihydric → air

Stenohaline – eurihaline → kadar garam

Stenophagus – euriphagus → makanan

Stenocious – euricious → pemilihan habitat

	Telur ikan Salmon (<i>Salvelinus</i>)	Telur Katak (<i>Rana pipiens</i>)
Berkembang	0 – 12°C	0 – 30°C
Optimum	4 °C	22 °C
Kategori	Stenothermal	Eurithernal

Stenothermal : - oligothermal : toleransi pada suhu rendah
- polithermal : toleransi pada suhu tinggi

Gambar 9.1. Perbandingan batas toleransi nisbi (relatif) dari organisme stenothermal dan eurithernal

1) Faktor Kompensasi dan Ecotypes

Organisme tidak hanya merupakan *budak* lingkungan fisik saja akan tetapi juga dapat mengadakan adaptasi dan mengubah keadaan lingkungan fisik untuk mengurangi efek hambatan terhadap pengaruh temperatur, cahaya, air dan sebagainya. Keadaan kompensasi demikian terutama efektif untuk tingkat komunitas meskipun juga terjadi pada tingkat spesies.

Spesies dengan penyebarannya luas hampir selalu mengembangkan populasi dengan adaptasi lokal yang disebut ecotypes misalnya rubah kutub mempunyai daun telinga yang kecil sedangkan rubah padang pasir mempunyai telinga yang besar dan panjang.

D. KONSEP GABUNGAN MENGENAI FAKTOR PEMBATAS

Keberadaan atau keberhasilan suatu organisme atau kelompok organisme tergantung kepada keadaan yang kompleks. Keadaan yang mendekati atau melampaui batas toleransi disebut kondisi batas atau *faktor pembatas (limiting faktor)*.

Organisme di alam dikendalikan oleh:

- a. Unsur dan senyawa esensial yang berada dalam keadaan minimum.
- b. Faktor fisik yang kritis.
- c. Batas toleransi organism.

Apabila organisme mempunyai batas luas untuk suatu faktor yang relatif konstan dan berada dalam jumlah yang banyak maka faktor tidak merupakan faktor limit. Sebaliknya apabila organisme mempunyai batas toleransi sempit untuk suatu faktor yang selalu berubah maka faktor tadi mungkin menjadi faktor limit.

Misalnya kadar O₂ yang banyak dan konstan terdapat diudara maka O₂ bukan merupakan faktor pembatas untuk organisme daratan akan tetapi di ekosistem perairan kadar O₂ sering berubah – ubah dan dalam konsentRasi yang kecil maka oksigen merupakan faktor pembatas untuk organisme air.

E. SYARAT KEBERADAAN SEBAGAI FAKTOR PENGATUR

Cahaya, temperatur, dan air secara ekologis merupakan faktor lingkungan yang penting untuk daratan sedangkan cahaya, temperatur, dan kadar garam merupakan tiga besar faktor untuk lautan.

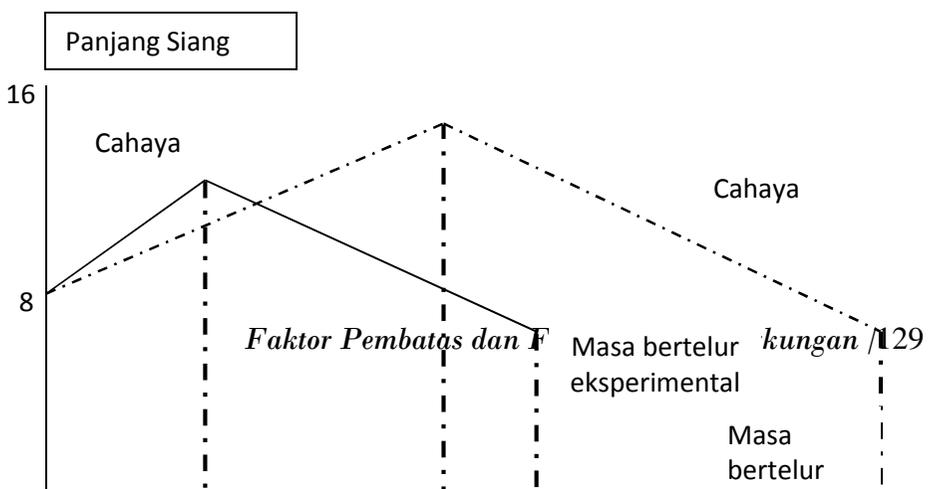
Semua faktor fisik alami tidak hanya merupakan faktor pembatas dalam arti yang merugikan akan tetapi juga merupakan faktor pengatur

dalam arti yang menguntungkan sehingga komunitas selalu dalam keadaan homeostatis.

Di alam, organisme tidak hanya beradaptasi terhadap lingkungan fisik dalam arti toleransinya saja, akan tetapi juga memanfaatkan periodisitas alami untuk mengatur kegiatan dan memprogram kehidupan. Misalnya di daerah iklim sedang kegiatan organisme disesuaikan dengan panjang hari (photoperiod).

Photoperiod akan mempengaruhi keadaan fisiologi organisme antara lain: pertumbuhan, pembungaan (long day plant dan short day plant), pergantian bulu, migrasi, pembiakan (serangga) dan sebagainya.

Photoperiod ini akan diikuti dengan biological clock dari organisme. Karena itu penanaman tumbuhan yang berasal dari iklim sedang harus memperhatikan photoperiod ini. Pengaturan waktu dan kegiatan organisme dapat diubah melalui manipulasi.



Gambar 9.2. *Pengendalian Musim Perkembanganbiakan Trout dengan manipulasi Buatan Photoperiod .*

Trout, yang secara normal berkembang pada musim gugur dan menetas pada musim panas . Bilamana panjang siang hari dinaikan secara buatan dalam musim semi dan menurun pada musim panas untung merangsang keadaan musim gugur.

Pada golongan serangga produksi hormon untuk merangsang bertelur juga dipengaruhi oleh photoperiod.

Pada biji dari tanaman padang pasir terdapat zat penghambat perkecambahan yang baru tercipt apabila curah hujan lebih besar dari 1 cm. Biji seperti ini akan segera tumbuh apabila diberi hujan buatan. Karena adanya Zat anti perkecambahan ini, maka tanaman pada padang pasir baru berkecambah apabila telah turun hujan yang cukup.

F. TINJAUAN SINGKAT TENTANG FAKTOR FISIK SEBAGAI FAKTOR PEMBATAS

Konsep faktor pembatas tidak hanya berupa faktor fisika saja akan tetapi juga adanya interaksi yang penting untuk mengontrol distribusi dan jumlah populasi.

1. Temperatur

Organisme dapat hidup pada temperatur antara -200°C (spora dan biji) sampai 100°C (bakteri, ganggang air panas), akan tetapi kebanyakan dapat hidup pada kisaran temperatur yang lebih sempit.

Umumnya batas atas lebih kritis daripada batas bawah. Variasi temperatur lebih kurang pada ekosistem perairan oleh karena itu umumnya organisme air daerah toleransinya lebih sempit daripada organisme darat yang ekuivalen, misalnya ganggang air dan darat, invertebrata air dan darat.

Variabilitas temperatur sangat penting secara ekologis karena fluktuasi temperatur antara $10-20^{\circ}\text{C}$ dengan rata-rata 15°C , tidak selalu mempunyai efek yang sama terhadap organisme seperti halnya temperatur yang konstan 15°C .

Ternyata organisme yang sering mendapat perubahan temperatur di alam misalnya di daerah beriklim sedang, kecenderungan untuk menyebar dihambat apabila diberi temperatur yang konstan. Dalam percobaan ternyata telur belalang berkembang lebih cepat jika temperatur dibuat naik turun dibanding dengan temperatur yang konstan.

2. Radiasi Cahaya

Organisme berda di ujung tanduk dilema cahaya. Cahaya langsung akan membunuh protoplasma akan tetapi disamping itu cahaya merupakan sumber energi bagi kehidupan, tanpa cahaya tidak akan ada kehidupan. Oleh karena itu banyak struktur dan

sifat khas yang dimiliki oleh organisme berkaitan dengan cara pemecahan terhadap masalah cahaya ini.

Cahaya merupakan faktor vital sekaligus faktor pembatas bagi kehidupan organisme. Dari segi ekologi yang penting adalah *kualitas cahaya* (panjang gelombang, warna) dan *intensitas cahaya* (lama penyinaran).

3. Air

Air merupakan kebutuhan pokok organisme sebagai bahan penyusun protoplasma (protoplasma 80% air), ini dari segi fisiologi organisme (sel). Dari segi ekologi, air merupakan faktor pembatas utama untuk lingkungan darat atau air dengan salinitas tinggi yang dapat mengakibatkan organisme kehilangan air (osmosis).

Berapa faktor prinsip yang harus diperhatikan tentang air ialah :

a. *Curah hujan*

Curah hujan 35 cm sepanjang tahun akan berakibat lain terhadap organisme dengan curah hujan 70 cm dalam waktu setengah tahun. Hal ini disebabkan karena jika curah hujan hanya setengah tahun meskipun rata-ratanya sama akan mengakibatkan organisme harus beradaptasi selama setengah tahun musim kering.

Curah Hujan	Keadaan
0-10 inc/tahun	Gurun
10-30 inc/tahun	Padang rumput, savanna
30-50 inc/ tahun	Hutan kering
> 50 inc/tahun	Hutan hujan

b. *Kelembaban*

Kelembaban ialah jumlah uap air yang terdapat di udara. Kelembaban mutlak ialah rasio berat uap air di udara berat udara. Kelembaban nisbi (*relative humidity*) ialah rasio persen uap air di udara dengan tekanan tertentu.

Beberapa hal yang berkaitan dengan kelembaban ialah :

- Kelembaban dapat memengaruhi efek temperature organisme
- Kelembaban berfluktuasi horizontal (malam hari kelembapan tinggi sedangkan siang hari kelembapan rendah)
- Kelembaban juga berfluktuasi secara vertical
- Kelembaban, temperature, dan cahaya berperan sangat besar dalam mengatur aktivitas organisme dan sering menjadi factor pembatas terhadap penyebaran organisme.

c. *Penguapan*

Penguapan dapat mengakibatkan dehidrasi terhadap organisme karena itu organisme menyesuaikan aktivitasnya sesuai dengan faktor penguapan ini, yaitu hewan aktif pada tempat yang terlindung atau pada malam hari. 97-99% air yang dihisap oleh tanaman hilang karena ditranspirasi, yang dinyatakan dalam gram bahan kering yang dihasilkan per 1000 gram air yang ditranspirasikan. Kebanyakan tanaman pertanian mempunyai efisiensi transpirasi akan tinggi akan tetapi produktivitas rendah. Embun dapat merupakan

sumbangan yang sangat berarti bagi daerah yang curah hujannya rendah seperti padang pasir.

4. Temperature dan Kelembapan Bertindak Bersama

Pada ekosistem faktor-faktor lingkungan tidak bekerja sendiri-sendiri akan tetapi bekerja bersama-sama. Temperatur dan kelembaban sangat berpengaruh pada lingkungan darat. Efek pembatas dari temperature bertambah hebat apabila kelembaban dalam keadaan ekstrim, yaitu tinggi maupun rendah. Interaksi antara temperatur dan kelembaban seperti interaksi pada faktor lain yaitu tergantung kepada nilai nisbi (relative) dan nilai mutlak dari setiap faktor. Efek kelembaban akan bertambah hebat apabila temperatur dalam keadaan ekstrim.

Misalnya umbang kapas tahan terhadap temperatur tinggi apabila kelembaban tidak berada dalam keadaan ekstrim.

Dipandang dari kelembapan dan temperatur dikenal dua tipe dasar iklim :

- Iklim laut yang ditandai dengan fluktuasi temperatur dan kelembaban yang kurang ekstrim karena efek moderat dari badan air laut.
- Iklim darat yang ditandai dengan temperature dan kelembaban yang ekstrim.

5. Gas-gas Atmosfer

Kadar CO₂ udara 0,003% dan O₂ 21 %. Dalam percobaan ternyata bahwa penurunan kadar O₂ dengan 5% dapat menaikkan kecepatan fotosintesis pada kacang-kacangan sampai 50%, akan

tetapi pada jagung dan tebu penurunan kadar oksigen tidak memperlihatkan pengaruh yang nyata pada fotosintesis. Dalam tanah, O_2 dapat menjadi faktor pembatas untuk organisme aerob dan kadar CO_2 akan meningkat makin dalam di dalam tanah.

Keadaan lingkungan akuatik berbeda dengan lingkungan darat karena kadar O_2 , CO_2 , dan gas lain yang terlarut dalam air yang dapat diperoleh organisme sangat bervariasi dari waktu ke waktu dan dari tempat ke tempat karena kelarutan gas dalam air dipengaruhi oleh, temperatur, tekanan, dan kadar garam. Misalnya O_2 merupakan faktor pembatas untuk perairan yang tercemar zat organik. Temperatur yang tinggi dan kadar garam dapat mengurangi kelarutan O_2 . merupakan sumber oksigen air ialah hasil fotosintesa dan difusi dari udara (diperbesar oleh gerakan air).

CO_2 dalam air juga bervariasi akan tetapi CO_2 merupakan gas yang mudah larut dalam air. Sumber CO_2 ialah pernapasan organisme dan pembusukan. pH air berkaitan erat dengan kadar CO_2 dalam air respirasi organisme air dan sering merupakan faktor pembatas penting bagi organisme air karena dapat mempengaruhi pernapasan dan kerja dari enzim.

6. Garam-garam Biogenik : makro dan Mikronutrient

Garam biogenik adalah garam-garam yang terlarut dalam air yang merupakan garam yang vital bagi organisme. Contohnya ialah garam-garam nitrogen dan posfor. Garam Co penting untuk

molusca dan vertebrata, garam Mg penting untuk klorofil tanaman.

Makronutrien antara lain : C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg

Mikronutrien antara lain : Fe, Mn, Cu, Zn, Si, Mo, Co, Cl.

Di tinjau dari fungsinya pada tanaman mikronutrien dapat dibagi menjadi :

- Untuk fotosintesis : Mn, Fe, Cl, Zn, V
- Untuk metabolisme nitrogen : Mo, Co, Fe
- Untuk metabolisme zat lain : Mn, B, Co, Cu, Si

Banyak unsur yang esensial bagi tanaman juga esensial bagi hewan, misal yodium. Garis pemisah antara mikro dan makronutrien tidak tajam dan tidak harus sama untuk semua organisme. Na dan Cl banyak diperlukan oleh golongan hewan, akan tetapi hanya sedikit diperlukan oleh tanaman. Ditinjau dari fungsinya unsur logam sering berperan sebagai metalo-aktifator, misalnya Co untuk vitamin B12.

7. Arus dan Tekanan

Media atmosferik dan hidroferik di mana organisme hidup hampir tidak pernah diam sama sekali. Adanya arus akan berfungsi sebagai faktor pembatas. Misalnya perbedaan organisme sungai dan danau sering disebabkan oleh adanya arus yang deras pada sungai. Tanaman dan hewan sungai telah beradaptasi terhadap arus, baik secara morfologi maupun fisiologi (tanaman dan hewan mempunyai batas toleransi terhadap arus). Pada ekosistem daratan angin dapat juga merupakan faktor pembatas karena

angina yang besar akan memperbesar penguapan. Oleh karena itu, pada keadaan berangin serangga dan burung akan bersembunyi di tempat yang teduh untuk menghindari penguapan yang besar.

Tekanan barometrik tidak begitu berpengaruh terhadap kehidupan organisme darat meskipun tekanan barometrik dapat mempengaruhi iklim, dan iklim ini yang dapat mempengaruhi organisme darat. Keadaan ini lain dengan organisme air. Tekanan hirostatis merupakan tekanan yang besar, sehingga dapat mempengaruhi kehidupan organisme air. Setiap turun 10 m pada kedalaman air tekanan akan naik 1 atm. Hancurnya benda karena tekanan air yang besar disebut *implosion*.

8. Tanah

Daerah tempat hidup organisme disebut biosfir yang meliputi atmosfir, hidrosfir, dan pedosfir (tanah). Tanah berasal dari lapisan kulit bumi yang dilapukkan oleh organisme hidup sehingga dapat dikatakan bahwa tanah bukan hanya faktor lingkungan bagi organisme akan tetapi juga merupakan hasil kerja organisme. Gambaran lapisan tanah (horizon tanah) dari permukaan ke bawah disebut profil tanah.

- **Lapisan teratas (lapisan A, top soil, horizon A)**

Pada lapisan ini terkandung tubuh tanaman dan hewan yang telah hancur menjadi bagian yang kecil-kecil oleh proses yang disebut humifikasi. Pada tanah yang matang lapisan ini terdiri dari lapisan yang jelas. Berdasarkan derajat humifikasi lapisan A dapat dibagi menjadi : (dari atas ke bawah)

- Lapisan sisa (litter) A-O (mewakili komponen detritus)
- Lapisan humus A-1
- Lapisan tercuci A-2 (warna muda)
- **Lapisan B (horizon B)**

Terdiri dari tanah mineral, dimana senyawa organik telah diubah oleh dekomposer menjadi senyawa anorganik melalui proses mineralisasi dan kemudian bercampur dengan bahan induk halus. Bahan yang larut pada lapisan b sering berasal dari lapisan.

- **Lapisan C (lapisan horizon C)**

Merupakan lapisan induk yang belum banyak mengalami perubahan. Materi induk setelah pecah dapat berpindah tempat karena :

- Gravitasi (colluvial deposit)
- Air (alluvial deposit)
- Glacier (glacial deposit)
- Angina (colian deposit)

Profil tanah dan ketebalan relatif umumnya khas untuk suatu daerah dengan iklim tertentu. Misalnya tanah padang rumput humifikasi cepat, akan tetapi mineralisasi lambat. Karena setiap tahun selalu bertambah dengan sisa yang baru (umur rumput pendek), maka lapisan humus akan tebal. Pada hutan, pembusukan sisa berjalan lambat, akan tetapi mineralisasi berjalan cepat., sehingga lapisan humus tipis, hanya 1/11 lapisan humus padang rumput. Oleh karena itu dengan

curah hujan yang cukup, padang rumput dapat menjadi limbung dunia.

Topografi juga sangat mempengaruhi tanah suatu daerah iklim tertentu. Tanah berbukit atau pemakaian tanah yang salah oleh manusia akan mengakibatkan lapisan A dan b tipis, karena adanya erosi. Pada tanah yang datar, air yang berlebihan akan mencuci unsure-unsur sehingga masuk ke horizon yang lebih dalam.

9. Api sebagai Faktor Pembatas

Api merupakan factor iklim yang penting untuk daerah hutan dan padang rumput pada daerah iklim sedang dan tropis pada musim kering karena ekosistem beradaptasi terhadap api seperti halnya terhadap temperatur dan air. Umumnya manusia ikut campur untuk mengurangi pengaruh api terhadap ekosistem, padahal alam telah beradaptasi terhadap faktor api pada daerah yang belum dijamah manusia, dari segi api sebagai faktor ekologis dapat dibagi menjadi :

Kebakaran Tajuk (crown fire)

Tipe kebakaran ini akan menghancurkan semua vegetasi dalam ekosistem, merupakan faktor pembatas untuk semua organisme, memerlukan waktu lama untuk sembuh kembali karena semua hancur.

Kebakaran Permukaan (surface fire)

Menguntungkan bagi organisme dengan toleransi tinggi terhadap api hanya merupakan faktor pembatas untuk beberapa organisme.

Kebakaran permukaan dapat :

- Mengurangi pekerjaan bakteri dalam mempercepat proses pembusukan
- Membantu pemecahan kulit buah yang keras, misalnya golongan pinus, jadi membantu peremajaan hutan.

Pembakaran kayu sisa bukan hutan dapat mengakibatkan kebakaran yang mendekati kebakaran tajuk akibatnya tanah menjadi sukar ditanami karena waktu kebakaran temperature sangat tinggi. Hasil pembakaran terhadap suatu daerah dapat mengakibatkan hanya tanaman dengan toleransi terhadap api yang tinggi yang dapat berkecambah kembali akibatnya hanya vegetasi tertentu yang dapat tumbuh. Vegetasi yang demikian disebut *fire climax* atau *pyroclimax*.

Lingkungan Mikro

Perbedaan temperatur, kelembapan, dan faktor lain secara regional adalah penting akan tetapi perbedaan secara vertikal juga penting. Karena lingkungan mikro sebagai lawan lingkungan makro selama dekade terakhir ini juga mulai dikembangkan. Organisme yang menempati habitat umum yang sama (secara makro) sebenarnya dapat berada dalam keadaan yang berbeda secara lingkungan mikro. Istilah lain yang sering dipakai tetapi lebih terbatas ialah iklim makro dan iklim bio (*bioclimate*).

Terminologi lingkungan mikro adalah besarnya relatif, misalnya dapat berupa lingkungan yang ada disekitar pohon pinus atau sekitar lumut kerak akan tetapi dapat juga suatu lereng dari lembah.

Perbedaan iklim mikro dapat diciptakan karena perbedaan topografi misalnya daerah lereng yang meghadap ka arah selatan menerima cahaya lebih banyak dibandingkan dengan lereng yang menghadap ke utara. Akibatnya iklim mikro lereng yang mengarah ke selatan sama sekali berbeda dengan lereng yang mengarah ke utara.

Perbedaan temperatur, kelembapan, evapotranspirasi, dan faktor lainnya dapat menghasilkan komunitas yang sama sekali berbeda dengan lereng di sebelahnya pada jurang yang sama.

G. INDIKATOR EKOLOGI

Karena suatu faktor lingkungan sering menentukan organisme yang akan ditemukan pada suatu daerah, maka sebaliknya kita dapat menentukan keadaan lingkungan fisik dari organisme yang ditemukan pada suatu daerah. Hal ini disebut indikator ekologi (indikator biologi).

Di AS sering tanaman tertentu dipakai sebagai indikator terhadap adanya air atau keadaan tanah suatu tempat.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan apabila kita memakai indikator biologi ialah :

- Umumnya organisme steno merupakan indikator yang lebih baik daripada organisme euri. Jenis tanaman indikator ini sering bukan merupakan organisme yang terbanyak dalam suatu kmunitas.
- Spesies (jenis) yang besar umumnya merupakan indikator yang lebih baik daripada spesies yang kecil, karena spesies dengan

anggota organisme yang besar mempunyai biomassa yang besar umumnya lebih stabil. Juga karena *turn over rate* organisme kecil sekarang ada/hidup mungkin besok sudah tidak ada/mati. Oleh karena itu tidak ada spesies Algae yang dipakai sebagai indikator ekologi.

- Sebelum menentukan spesies atau golongan organisme sebagai indikator harus ada bukti lapangan dan kalau dapat bukti laboratorium yang membuktikan bahwa persyaratan hidup spesies organisme terbatas.
- Banyak hubungan antar spesies, populasi atau komunitas seringkali menjadi indikator yang lebih baik daripada suatu spesies. Hal ini disebabkan karena lebih menggambarkan keadaan yang terintegrasi.

Misalnya suatu tumbuhan dapat dipakai sebagai indikator terhadap uranium, jika tanaman tersebut berakar dalam seperti Tusam dan Juniperus. Jika Tusam dan Juniperus tumbuh di daerah Dyang mengandung uranium maka bagian yang berada dipermukaan tanah akan mengandung banyak uranium. Jika bagian yang ada di atas tanah (daun, ranting) dikumpulkan dan diadakan analisis abu kandungan uranium dapat mencapai 2 ppm, dan ini menyatakan kandungan uranium tanah yang besar. Karena selenium sering berasosiasi dengan uranium maka tanaman yang menjadi indikator untuk selenium misalnya Astragalus juga dapat dipakai sebagai indikator untuk uranium.

BAB X EKOLOGI AIR TAWAR

A. EKOSISTEM AIR TAWAR

Ekosistem air tawar merupakan ekosistem akuatik, ciri-ciri ekosistem air tawar:

- Kadar garam/salinitasnya sangat rendah, bahkan lebih rendah dari kadar garam protoplasma organisme akuatik.
- Variasi suhu sangat rendah.
- Penetrasi cahaya matahari kurang.
- Dipengaruhi oleh iklim dan cuaca.
- Macam tumbuhan yang terbanyak adalah jenis ganggang, sedangkan lainnya tumbuhan biji
- Hampir semua filum hewan terdapat dalam air tawar. Organisme yang hidup di air tawar pada umumnya telah beradaptasi.

Adaptasi organisme air tawar adalah sebagai berikut :

a. Adaptasi tumbuhan

Tumbuhan yang hidup di air tawar biasanya bersel satu dan dinding selnya kuat seperti beberapa alga biru dan alga hijau. Air masuk ke dalam sel hingga maksimum dan akan berhenti sendiri. Tumbuhan tingkat tinggi, seperti teratai (*Nymphaea gigantea*), mempunyai akar jangkar (akar sulur). Hewan dan tumbuhan rendah yang hidup di

habitat air, tekanan osmosisnya sama dengan tekanan osmosis lingkungan atau isotonis.

b. Adaptasi hewan

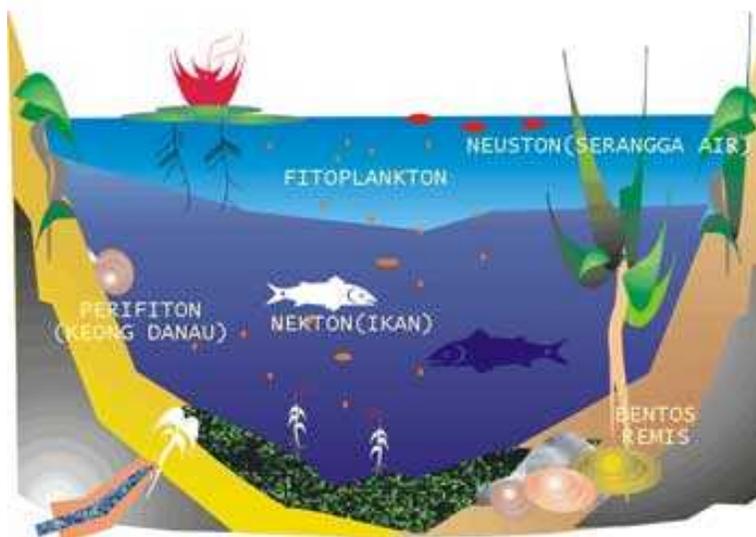
Ekosistem air tawar dihuni oleh nekton. Nekton merupakan hewan yang bergerak aktif dengan menggunakan otot yang kuat. Hewan tingkat tinggi yang hidup di ekosistem air tawar, misalnya ikan, dalam mengatasi perbedaan tekanan osmosis melakukan osmoregulasi untuk memelihara keseimbangan air dalam tubuhnya melalui sistem ekskresi, insang, dan pencernaan. Habitat air tawar merupakan perantara habitat laut dan habitat darat. Penggolongan organisme dalam air dapat berdasarkan aliran energi dan kebiasaan hidup.

B. KLASIFIKASI EKOSISTEM ORGANISME AIR TAWAR

1. Berdasarkan aliran energi, organisme dibagi menjadi *autotrof* (*tumbuhan*), dan *fagotrof* (*makrokonsumen*), yaitu karnivora predator, parasit, dan saprotrof atau organisme yang hidup pada substrat sisa-sisa organisme.
2. Berdasarkan kebiasaan hidup, organisme dibedakan sebagai berikut.
 - a. *Plankton*; terdiri atas fitoplankton dan zooplankton; biasanya melayang-layang (bergerak pasif) mengikuti gerak aliran air.
 - b. *Nekton*; hewan yang aktif berenang dalam air, misalnya ikan.
 - c. *Neuston*; organisme yang mengapung atau berenang di permukaan air atau bertempat pada permukaan air, misalnya serangga air.

- d. *Perifiton*; merupakan tumbuhan atau hewan yang melekat/bergantung pada tumbuhan atau benda lain, misalnya keong.
- e. *Bentos*; hewan dan tumbuhan yang hidup di dasar atau hidup pada endapan. Bentos dapat *sessil* (melekat) atau bergerak bebas, misalnya cacing dan remis.

Lihat Gambar.



Gambar 10.1. Berbagai organisme air tawar berdasarkan cara hidupnya

C. MACAM-MACAM EKOSISTEM AIR TAWAR

Ekosistem air tawar digolongkan menjadi air tenang (*lentic*) dan air mengalir (*lotik*). Termasuk ekosistem air tenang adalah danau dan rawa, termasuk ekosistem air mengalir adalah sungai.

1. Danau

Danau merupakan suatu badan air yang menggenang dan luasnya mulai dari beberapa meter persegi hingga ratusan meter persegi. Di danau terdapat pembagian daerah berdasarkan penetrasi cahaya matahari. Daerah yang dapat ditembus cahaya matahari sehingga terjadi fotosintesis disebut daerah *fotik*. Daerah yang tidak tertembus cahaya matahari disebut daerah *afotik*. Di danau juga terdapat daerah perubahan temperatur yang drastis atau *termoklin*. Termoklin memisahkan daerah yang hangat di atas dengan daerah dingin di dasar.

Komunitas tumbuhan dan hewan tersebar di danau sesuai dengan kedalaman dan jaraknya dari tepi. Berdasarkan hal tersebut danau dibagi menjadi 4 daerah sebagai berikut.

a) *Daerah litoral*

Daerah ini merupakan daerah dangkal. Cahaya matahari menembus dengan optimal. Air yang hangat berdekatan dengan tepi. Tumbuhannya merupakan tumbuhan air yang berakar dan daunnya ada yang mencuat ke atas permukaan air. Komunitas organisme sangat beragam termasuk jenis-jenis ganggang yang melekat (khususnya diatom), berbagai siput dan remis, serangga, krustacea, ikan, amfibi, reptilia air dan semi air seperti kura-kura dan ular, itik dan angsa, dan beberapa mamalia yang sering mencari makan di danau.

Komunitas Alamiah pada Zona Litoral

1. Produsen

Pada daerah litoral ada dua tipe utama produsen, yaitu golongan tanaman berakar atau golongan bentos, yang umumnya Spermatophyta dan fitoplankton yang umumnya Algae.

2. Konsumen

Zona litoral banyak didiami berbagai macam hewan, lebih banyak daripada zona yang lain. Hampir semua phylum yang hidup dalam habitat air terdapat di sini. Hewan periphyton disini memperlihatkan zonasi lebih ke arah vertikal, hewan tersebut antara lain: siput, cacing, rotifera, cacing pipih, dan berbagai macam larva, dan juga amphibi, reptil, pisces.

b) *Daerah limnetik*

Daerah ini merupakan daerah air bebas yang jauh dari tepi dan masih

dapat ditembus sinar matahari. Daerah ini dihuni oleh berbagai fitoplankton, termasuk ganggang dan sianobakteri. Ganggang berfotosintesis dan bereproduksi dengan kecepatan tinggi selama musim panas dan musim semi. Zooplankton yang sebagian besar termasuk Rotifera dan udang-udangan kecil memangsa fitoplankton. Zooplankton dimakan oleh ikan- ikan kecil. Ikan kecil dimangsa oleh ikan yang lebih besar, kemudian ikan besar dimangsa ular, kura-kura, dan burung pemakan ikan.

c) *Daerah profundal*

Daerah ini merupakan daerah yang dalam, yaitu daerah afotik danau. Mikroba dan organisme lain menggunakan oksigen untuk

respirasi seluler setelah mendekomposisi detritus yang jatuh dari daerah limnetik. Karena tidak ada cahaya maka penghuni zona profundal bergantung pada zona limnetik dan litoral

d) *Daerah bentik*

Daerah ini merupakan daerah dasar danau tempat terdapatnya bentos dan sisa-sisa organisme mati.



Gambar 10.2. Empat daerah utama pada danau air tawar

Danau juga dapat dikelompokkan berdasarkan produksi materi organik-nya, yaitu sebagai berikut :

a. *Danau Oligotropik*

Oligotropik merupakan sebutan untuk danau yang dalam dan kekurangan makanan, karena fitoplankton di daerah limnetik tidak produktif. Ciri-cirinya, airnya jernih sekali, dihuni oleh sedikit organisme, dan di dasar air banyak terdapat oksigen sepanjang tahun.

b. *Danau Eutropik*

Eutropik merupakan sebutan untuk danau yang dangkal dan kaya akan kandungan makanan, karena fitoplankton sangat produktif. Ciri-cirinya adalah airnya keruh, terdapat bermacam-macam organisme, dan oksigen terdapat di daerah profundal. Danau oligotrofik dapat berkembang menjadi danau eutrofik akibat adanya materi-materi organik yang masuk dan endapan. Perubahan ini juga dapat dipercepat oleh aktivitas manusia, misalnya dari sisa-sisa pupuk buatan pertanian dan timbunan sampah kota yang memperkaya danau dengan buangan sejumlah nitrogen dan fosfor. Akibatnya terjadi peledakan populasi ganggang atau *blooming*, sehingga terjadi produksi detritus yang berlebihan yang akhirnya menghabiskan suplai oksigen di danau tersebut. Pengkayaan danau seperti ini disebut "*eutrofikasi*". Eutrofikasi membuat air tidak dapat digunakan lagi dan mengurangi nilai keindahan danau.

Berdasarkan pola sirkulasi air danau di dunia dapat dikategorikan menjadi:

- a. Dimictic, pada danau tipe ini terdapat dua sirkulasi bebas musiman atau dua overturn
- b. Monomictic dingin, pada danau tipe ini temperatur air tidak pernah diatas 4 C (daerah kutub). Terjadi satu overturn musiman pada musim panas.
- c. Monomictic panas, pada danau tipe ini temperatur air tidak pernah dibawah 4C (daerah subtropik) terjadi satu overturn musiman pada musim dingin.

- d. Polymictic, pada danau tipe ini hampir selalu ada sirkulasi air. Periode stagnasi kalau ada hanya dalam waktu yang pendek, terdapat di daerah tinggi pada equator.
- e. Oligomictic, pada danau tipe ini pencampuran air sangat lambat karena temperatur yang stabil. Tipe ini banyak terdapat pada danau di daerah tropis.
- f. Meromictic, pada danau tipe ini terjadi stratifikasi permanen, umumnya akibat adanya perbedaan kimiawi pada lapisan air epilimnion dan hypolimnion.

2. Sungai

Sungai adalah suatu badan air yang mengalir ke satu arah. Air sungai dingin dan jernih serta mengandung sedikit sedimen dan makanan. Aliran air dan gelombang secara konstan memberikan oksigen pada air. Suhu air bervariasi sesuai dengan ketinggian dan garis lintang. Komunitas yang berada di sungai berbeda dengan danau. Air sungai yang mengalir deras tidak mendukung keberadaan komunitas plankton untuk berdiam diri, karena akan terbawa arus. Sebagai gantinya terjadi fotosintesis dari ganggang yang melekat dan tanaman berakar, sehingga dapat mendukung rantai makanan. Komposisi komunitas hewan juga berbeda antara sungai, anak sungai, dan hilir. Di anak sungai sering dijumpai ikan air tawar. Di hilir sering dijumpai ikan kucing dan gurame. Beberapa sungai besar dihuni oleh berbagai kura-kura dan ular. Khusus sungai di daerah tropis, dihuni oleh buaya dan lumba-lumba. Organisme sungai dapat bertahan tidak terbawa arus karena mengalami adaptasi

evolusioner. Misalnya bertubuh tipis dorsoventral dan dapat melekat pada batu. Beberapa jenis serangga yang hidup di sisi-sisi hilir menghuni habitat kecil yang bebas dari pusaran air.

Perbedaan dengan danau ialah:

- Adanya arus
- Pertukaran antara air dengan dasar lebih intensif karena adanya arus
- Pada air mengalir, kadar oksigen lebih tinggi dibandingkan air tenang
- Percampuran kandungan zat lebih merata, juga temperatur.

Adaptasi organisme air lotik (sungai):

- Melekat permanen pada substrat yang tetap, misalnya batu, tanaman
- Mempunyai kait atau penghisap untuk melekat pada tempat yang licin
- Permukaan bawah tubuh dapat dipakai untuk melekat
- Bentuk badan *stream line*, bentuk badan sedikit seperti telur membulat di depan dan memipih di posterior untuk mengurangi tekanan air
- Bentuk tubuh pipih, disamping *stream line* bentuk tubuh pipih sehingga mudah bersembunyi di bawah batu
- Rheotaxis positif, organisme air mengalir selalu berusaha menentang arus dan ini berbeda dengan organisme air tenang.

D. PERUBAHAN EKOSISTEM DAN DAMPAK LINGKUNGAN

Kegiatan manusia dan bencana alam dapat menyebabkan perubahan suatu ekosistem. Bencana alam, seperti letusan gunung berapi dan gempa bumi merupakan sesuatu yang berada di luar kendali manusia. Namun kegiatan manusia, seperti tindakan pencemaran dan eksploitasi yang berlebihan terhadap sumber daya alam, secara langsung atau tidak langsung akan mengakibatkan terjadinya perubahan ekosistem.

Perusakan terhadap habitat suatu komunitas akan secara langsung mengubah ekosistem pada habitat tersebut. Sebagai contoh, eksploitasi ikan di danau atau di sungai dengan menggunakan bahan peledak, arus listrik atau bahan beracun berakibat rusaknya habitat komunitas di danau/sungai dan selanjutnya menyebabkan terjadinya perubahan ekosistem dan penurunan keanekaragaman hayati. Pada ekosistem air tawar terdapat faktor-faktor pembatas yang memungkinkan mekanisme yang berlangsung dalam ekosistem berjalan secara mantap. Faktor-faktor pembatas tersebut berkaitan dengan kondisi habitat air tawar (lingkungan akuatik), yaitu:

1. Temperatur
2. Transpirasi
3. Turbiditas/kekeruhan
4. Arus
5. Gas terlarut dalam air
6. Oksigen terlarut (Dissolved Oksigen/DO)
7. Karbondioksida terlarut

8. Garam biogenik dalam air
9. Na dan K
10. Kalsium dan Magnesium
11. Fosfor
12. Konveksi air

Dengan terganggunya faktor-faktor pembatas di atas, misalnya kenaikan atau penurunan konsentrasi dan *magnitude* dari faktor-faktor tersebut, niscaya akan mempengaruhi komunitas dan lingkungan abiotik dari ekosistem danau/sungai. Contoh kasus akibat pencemaran air yang berasal dari limbah suatu pabrik kertas yang memberikan dampak buruk terhadap lingkungan dan gangguan terhadap ekosistem, sebagai berikut:

1. Gangguan terhadap vegetasi

Tanaman padi di sawah-sawah pada kawasan tercemar sering terserang *penyakit layu* dengan gejala pucuk daun yang mengering dan membusuk dan berakhir dengan kematian tanaman tersebut.

2. Gangguan terhadap fauna

Hewan dan unggas yang meminum air sungai yang tercemar tersebut mati atau menghasilkan keturunan yang cacat.

3. Gangguan terhadap manusia

Dalam menggarap sawah, petani harus mengubah cara menanam padi terutama di musim kemarau, karena sepanjang musim tanam terdapat banyak sekali lapisan kertas yang mengendap dan menutupi permukaan tanah; petani harus menyediakan tenaga ekstra untuk memunguti lapisan kertas yang mengendap menutup permukaan

tanah tersebut yang berarti menambah biaya produksi. Dari suatu contoh di atas, jelaslah sudah bahwa gangguan atau pencemaran terhadap lingkungan akan berakibat terjadinya perubahan pada ekosistem tersebut.



BAB XI EKOLOGI DARATAN

A. LINGKUNGAN DARATAN

Ekologi daratan merupakan salah satu ilmu ekologi yang amat rumit dan beragam. Daratan biasanya sangat bervariasi dalam dua hal yaitu waktu dan geografi pada tiga lingkungan besar. Yang menarik perhatian dalam mempelajari ekologi di lingkungan daratan yaitu penekanan mengenai organisasi populasi dan komunitas dan proses perkembangan autogenik misalnya ekologi suksesi. Dalam bab ini akan dibicarakan mengenai komposisi dan variasi secara geografis pada komunitas daratan dengan memberi catatan pada beberapa sifat metabolisme khusus yang menarik pada ekosistem daratan. Perbedaan antara habitat daratan dan air adalah sebagai berikut:

1. Di daratan, kelembaban merupakan faktor pembatas, organisme daratan selalu dihadapkan pada masalah kekeringan. Evaporasi dan transpirasi merupakan proses yang unik dari kehilangan energi pada lingkungan daratan.
2. Variasi suhu dan suhu ekstrim lebih banyak di udara daripada media air.
3. Sirkulasi udara yang cepat di permukaan bumi akan menghasilkan isi-campuran O_2 dan CO_2 yang tetap.

4. Meskipun tanah merupakan penyangga yang padat bukan udara, kerangka yang kuat telah berkembang di tanah yaitu tanaman dan binatang yang akhir-akhir ini mempunyai arti khusus bagi perkembangan.
5. Tanah tidak seperti lautan yang selalu berhubungan di mana tanah sebagai barrier geografi terpenting dalam gerak bebasnya.
6. Sebagai substrat alam, meskipun yang terpenting adalah di air, namun yang paling khusus adalah dalam lingkungan daratan. Tanah adalah sumber terbesar dari bermacam-macam nutrisi (nitrat, posfor dan sebagainya) yang merupakan perkembangan besar dari subsistem ekologi).

Secara ringkas, iklim yang terdiri dari temperatur, kelembaban, cahaya, dan sebagainya, dengan substrat yang terdiri dari fisiografi, tanah, dan lain-lain adalah merupakan dua kelompok faktor yang saling berinteraksi dengan populasi dalam menentukan komunitas daratan dan ekosistem di alam.

B. BIOTA DARATAN DAN DAERAH BIOGEOGRAFI

Yang menarik perhatian dari evolusi yang terjadi di tanah adalah perkembangan kategori taksonomi ke tingkat yang lebih tinggi dari dunia tanaman dan binatang. Dengan demikian menjadi semakin kompleks dan terjadilah spesialisasi dari seluruh organisme yaitu tanaman berbiji, serangga, dan vertebrata yang berdarah panas, yang sampai saat ini mendominasi daratan. Yang terakhir ini termasuk perkembangan populasi manusia yang dari tahun ke tahun berpengaruh besar pada

biosfer dan khususnya pada ekosistem daratan. Ini tidak berarti bentuk tingkat rendah seperti jamur, bakteri, protozoa, dan sebagainya tidak ada atau tidak penting; mikroorganisme sama-sama memerankan peran yang penting di seluruh ekosistem. Meskipun manusia dan yang berhubungan dengannya (tanaman, binatang domestik, tikus, kutu, dan bakteri patogen) memberikan distribusi yang luas di seluruh muka bumi, tetapi setiap daerah daratan cenderung mempunyai spesialisasi flora dan fauna sendiri.

Kepulauan sering mempunyai perbedaan yang besar dari pulau utamanya. Hal yang menarik dari biogeografinya adalah hubungan khususnya dengan revolusi daratan. Alfred Russel Wallace bersama dengan Darwin menulis satu dari pertanyaan pertama dari seleksi alam yang hampir menjadi kenyataan dan merupakan usaha pertama dari sistem daerah biogeografi. Dunia bunga seperti yang dipandang sebagai peta tumbuh-tumbuhan adalah sangat mirip dengan daerah fauna pada peta binatang.

Perbedaannya yaitu pengakuan dari daerah Tanjung di Afrika Selatan sebagai daerah besar yang terpisah. Daerah kecil di Uni Afrika selatan masih mempunyai kekayaan flora yang luar biasa, lebih dari 1500 genus, yang mana 500 (30%) darinya adalah endemik yang tidak didapatkan di mana pun. Banyak spesies yang unik (menarik) diusahakan secara meluas di kebun-kebun Eropa. Australia dan Amerika Selatan juga merupakan daerah endemik sejumlah besar spesies. Organisme yang menempati daerah berekologisama pada komunitas semacam yang terdapat pada daerah dengan biogeografi berbeda dikenal sebagai

Ecological equivalent, meskipun mereka tidak berhubungan erat dari taksonominya. Misalnya kaktus (famili Cactaceae) yang menonjol di daerah gurun pada dunia baru (terutama daerah neotropikal) adalah sangat komplit. Tetapi di gurun Afrika, spesies dari Euphorbiaceae nampaknya seperti kaktus yang bentuknya berkembang menyerupai duri dan sukulent. Contoh yang istimewa yang sama dengan ini ditemukan juga pada dunia binatang.

Tidak selalu dari lingkungan daratan pada komunitas yang semacam menghasilkan spesies yang berbeda, seperti hampir setiap ekologi, manusia dengan sengaja atau tidak memodifikasi distribusi tanaman, juga sering menempatkan spesies yang keliru. Pulau yang terpisah dari daratan hampir seluruhnya memberikan spesies yang endemik dengan introduksi varietas, misalnya banyak burung-burung yang berkicau sebagian bertempat di Hawaii.

C. STRUKTUR UMUM KOMUNITAS DARATAN

Organisme daratan sangat bervariasi sehingga klasifikasi berdasarkan bentuk hidup dan tempat hidup seperti pada bentos-plankton-nekton adalah kurang praktis.

Klasifikasi dasar tropik untuk penelaahan biotik dapat digunakan dalam komunitas daratan yaitu klasifikasi umum yang berdasarkan makanan utama nisia, yang terdiri dari autotroph dan heterotroph.

1. Autotroph

Ciri yang menonjol dari komunitas daratan adalah kehadiran dan dominasi sejumlah besar akar tanaman hijau yang tidak hanya

sebagai pembuat makan utama, tetapi juga perlindungan bagi organisme lain serta berperan penting dalam memegang dan mengubah permukaan bumi. Walaupun dalam tanah terdapat algae, tetapi tidak begitu berperan bila dibandingkan fitoplankton di lingkungan air. Tanaman daratan bagaimanapun untuk makanannya tergantung pada mikroorganisme, sebagai contoh simbiosis mychoriza.

Vegetasi adalah istilah umum yang digunakan untuk semua tanaman yang terdapat dalam suatu tempat dengan segala sifat karakteristiknya, umumnya diklasifikasikan dan dinamakan komunitas lahan.

Sejumlah organisme daratan dapat beradaptasi terhadap hampir segala keadaan. Serangkaian istilah herbaceous dan woody atau tree, shrub, grass, dan forb (termasuk herba yang buka dari golongan rumput-rumputan, yaitu jenis leguminosae), umum digunakan dan sebagai dasar dalam penetapan penyebaran untuk pengenalan komunitas daratan utama. Istilah lain yang beradaptasi terhadap lingkungan dikenal tanaman hidrofita (adaptasi dengan lingkungan basah), mesofita (lingkungan lembab), xerofita (lingkungan kering), dan halofita (lingkungan garam).

Klasifikasi yang umum digunakan adalah klasifikasi bentuk hidup yang dikenal oleh Raunkiaer (1934), yang didasarkan pada perpanjangan kuncup organ, terdiri dari enam kategori utama, yaitu:

1. Epifita. Tanaman udara, akarnya tidak dalam tanah.

2. Phanerofit. Aerial plant, perpanjangan kuncup tegak lurus pada batangnya. Lima sub kelompok yang termasuk dalam kategori ini : pohon, semak, batang sukulent, herba, tanaman merambat.
3. Chamaefit. Tanaman permukaan, perpanjangan kuncup dipermukaan tanah.
4. Hemi-cryptofit. Tanaman semak, kuncup dipermukaan atau sedikit di bawah permukaan tanah.
5. Cryptofit atau Geofit. Tanaman di dalam tanah, kuncup berada dalam tanah dalam bentuk umbi atau rhizoma.
6. Therofit. Tanaman semusim, di mana siklus hidup lengkap dari biji dalam satu periode vegetatif, jika musim tidak menguntungkan akan bertahan dalam bentuk biji.

Umumnya dari seri-seri yang telah ditunjukkan, salah satu tujuannya adalah untuk meningkatkan adaptasi terhadap kondisi temperatur dan kelembaban yang merugikan. Spesies utama pada hutan hujan tropis terdiri dari Phanerofit dan Epif, sebaliknya hutan di belahan utara, proporsi tinggi terdiri dari bentuk kehidupant yang terlindungi. Flora di padang pasir ekstrim dan wilayah alpina adalah tanaman semusim (setahun). Menurut Chain (1950) dalam studi keadaan lokal harus hati-hati dalam mangasumsikan proporsi spesies dari kategori yang berbeda sebagai indikator iklim, karena faktor-faktor edaphik dan tingkatan suksesi berpengaruh besar terhadap komposisi bentuk hidup.

2. Phagotrophic (Macro Consumer)

Dihubungkan dengan sejumlah besar nisia yang diberikan oleh vegetasi, komunitas daratan mempunyai susunan konsumen binatang dengan variasi yang ekstrem. Konsumen pertama tidak hanya organisme kecil seperti serangga, tetapi juga termasuk herbivora yang sangat besar seperti mamalia berkuku. Yang terakhir ini mempunyai ciri unik di daratan dan sedikit paralel dengan komunitas di air (contoh kura-kura makan tanaman besar). Pemakan rumput di daratan perbedaannya sangat jauh dalam hal struktur maupun ukuran dari pemakan rumput di konutas air, misalnya zooplankton. Karena autotrof daratan banyak menghasilkan makanan dengan tingkat kegunaan rendah (selulosa, lignin, dan sebagainya), maka detritivora mempunyai ciri yang sangat menonjol pada komunitas daratan.

Jenis dan melimpahnya serangga serta artropoda lain, merupakan ciri penting lainnya pada komunitas daratan. Studi ekologi serangga telah banyak menarik perhatian. Ddengan ditemukannya DDT, laboratorium entomologi beralih ke dalam laboratorium kimia. Perhatian pengendalian secara biologis terhadap serangga digalakkan lagi sehingga bagian entomologi bekerja sama dengan ahli ekologi dan studi lapangan mulai digemari lagi.

3. Saprothophic (Micro Consumer)

Organisme yang melakukan mineralisasi bahan organik dan membentuk nilai fungsi daripadanya dilingkungan daratan tidak

hanya bakteri dan cendawan saja, tetapi juga termasuk protozoa dan binatang kecil lainnya. Mikroorganisme dekomposer dapat dibagi dalam empat taksonomi, yaitu :

1. Cendawan, termasuk ragi dan jamur.
2. Bakteri heterotrof, termasuk yang membentuk dan tidak membentuk spora.
3. Actinomycetes, berbentuk cambuk atau benang, bakteri yang mempunyai ciri morfologi tertentu seperti cendawan.
4. Protozoa tanah, termasuk amoeba, ciliata, dan terutama flagellata yang tak berwarna.

Dekomposer ini ditemukan pada komunitas daratn, tetapi terutama terkonsentrasi di lapisan tanah atas (termasuk dalam sampah). Dekomposisi sisa-sisa tanaman, dimana jumlah proporsinya besar, terjadi pada komunitas respirasi di banyak ekosistem daratan, melibatkan serangkaian mikroorganisme seperti di bawah ini :

Cendawan, jamur, dan bakteri yang tidak membentuk actinimycetes	Bakteri yang membentuk spora	Mikrobakteri selulosa
---	------------------------------	-----------------------

Dua kelompok yang pertama menggunakan zat organik yang lebih mudah diuraikan seperti gula, asam amino, dan protein sederhana. Kemudian bakteri selulosa mengerjakan senyawa yang lebih kuat dan Actinomycetes membentuk humus, yang merupakan produksi akhir dari tahapan kedua dekomposisi (tahap pertama merupakan pembentukan partikel/detritus). Prosesnya dikenal sebagai humifikasi.

Tahap ketiga dekomposisi disebut mineralisasi humus, pada daerah dingin prosesnya akan sangat lambat dan akan lebih cepat di daerah panas atau jika tanah terkena udara sewaktu pembajakan.

Peranan protozoa tanah banyak diketahui, hanya beberapa peranan penting yang dikenal. Protozoa (ciliata) dimangsa bakteri sehingga dekomposisi lebih cepat karena merangsang pertumbuhan dan metabolisme pemangsa, di mana kayu (lignin) dimakan oleh serangkaian organisme yang agak berbeda dari yang ditunjukkan di atas. Cendawan memegang peranan penting yang sama dalam penguraian lignin.

Tidak ada indikator yang baik tentang jumlah maupun biomassa dari mikroorganisme yang dapat mempengaruhi dalam melakukan kegiatan maupun kecepatan kegiatannya. Jumlah mikroba dekomposer berkisar antara 10^{12} - 10^{15} per m^2 dan biomasnya kira-kira 1-103 gram (bahan kering)/ m^2 pada ekosistem daratan yang produktif (dipadang pasang dan daerah lain, dengan lingkungan sebagai faktor pembatas, lebih kecil lagi).

Temperatur dan air sangat penting dalam merangsang aktifitas dekomposer, karena di daratan faktor-faktor tersebut lebih bervariasi dari pada di habitat air sehingga mudah untuk dilihat mengapa dekomposisi di daratan sering terjadi secara sporadis. Sebagai contoh, banyak bakteri dan cendawan membutuhkan lingkungan mikro dengan kadar air yang lebih tinggi daripada yang dibutuhkan akar tanaman tingkat tinggi akibatnya pada daerah dengan periode kering panjang (atau periode dingin panjang),

produksi tahunan dalam suatu ekosistem seringkali sangat melebihi dekomposisi tahunan, pada vegetasi klimaks yang rata.

Kebakaran periodik dalam situasi seperti itu bekerja sebagai dekomposer, mengubah akumulasi dari sampah atau kayu-kayu mati. Pengendalian kebakaran yang lengkap di ekosistem seperti di hutan California tidak mungkin menarik perhatian manusia atau ekosistem. Kebakaran periodik akan membantu kerja mikroba dekomposer dalam mencegah kebakaran besar yang dapat mengembalikan suksesi yang terlalu jauh serta memusnahkan milik manusia.

Dua strata besar yang terdiri dari semua ekosistem lengkap yaitu autotrophic dan heterotrophic, adalah ciri-ciri yang baik di lingkungan daratan. Vegetasi dan tanah adalah kata-kata yang biasa dikenal untuk dua lapisan ini di ekosistem daratan. Dan masing-masing sub sistem diuraikan sebagai berikut mulai dari tanah.

D. SUBSISTEM TANAH

Komunitas struktur tanah dan metabolismenya sering digunakan untuk menyatakan batas ukuran kelas organisme dan hubungan metabolismenya yang akan digunakan sebagai contoh determinasi dan prosedur studi lainnya. Tiga kelompok ukuran yang umum dikenal (Fenton, 1974):

1. Mikrobiota

Meliputi algae tanah (tipe lumut hijau dan *blue green, algae*), bakteri, jamur, dan protozoa. Mikrobiota heterotrof umumnya merupakan dasar prinsip mata rantai antara residu tanaman dan hewan-hewan tanah dalam rantai makanan.

2. Mesobiota

Meliputi nematoda, cacing oligochaeta kecil (nematodes), larva serangga kecil dan khusus yang tidak terlihat disebut mikroarthropoda, terakhir kutu tanah (Acarina) dan springtails (Collembola) biasanya paling banyak menetap dalam tanah. Organisme-organisme dalam tanah dapat di ekstrak dengan cara Berlese funnel atau Tullgren funnel . Berlese funnel adalah selektif yaitu nematoda yang biasa tersaring tetapi yang lebih kecil lolos. Baerman funnel adalah Berlese funnel yang funnelnya diisi dengan air hangat dan ditutup tanah dan jaring atau ram kawat. Beberapa mesobiota seperti bakteri primer, khususnya kutu dan serangga adalah predator. Nematoda paling banyak hidup pada tanah mineral (tipe liat/halus) biomasnya mungkin sama dengan biomassa cacing tanah (Overgaard-Nielsen, 1949), tetapi konsumsi O₂ 10 kali lebih banyak dari cacing tanah. Pada tanah-tanah pertanian, nematoda menjadi spesies parasit yang serius pada akar-akar tanaman dan menyulitkan penetrasi akar ke dalam tanah. Rotasi tanaman sering merupakan metode pengendalian paling baik.

3. Makrobiota

Meliputi perakaran tanaman, insekta besar, cacing tanah (Lumbricidae) dan organisme lain yang dapat dengan mudah ditangkap dengan tangan, vertebrata seperti tikus-tikus, tupai tanah, dan lain-lain dapat digolongkan dalam kelompok ini. Biasanya perakaran tanaman akan mengisi komponen biomassa

yang terbesar dalam tanah tetapi bila metabolisme per gramnya relatif rendah kurang dapat menyokong respirasi tanah untuk kerja dekomposer

Cacing tanah seperti nematoda menjadikan mineral dalam tanah melimpah, khususnya tanah liat berkapur mencapai kepadatan 300/m². semua makhluk makrobiota adalah sanagta penting dalam pencampuran tanah dan pemeliharaan konsistensi ruang hidup (living sponge). Ketinggian gerakan dari invertebrata makroskopik yang hidup pada permukaan antara litter (jerami)-tanah dapat diambil contoh dengan menempatkan papan-papan pada permukaan tanah dimana hewan-hewan akan terperangkap atau berlindung di bawahnya, seperti hewan Cryptozoa (Lihat Cole, 1946).

Pemecahan mekanik dari jerami tanaman dalam bentuk yang cepat didekomposisi oleh mikroba adalah salah satu pekerjaan yang penting yang dijalankan oleh hewan-hewan tanah.

Enam bentuk kehidupan digambarkan dengan tunas-tuna baru. Diagram batang di atas membandingkan antara hutan tropik dan hutan sederhana menunjukkan persentase spesies tanaman.

Tiga metode telah digunakan untuk membedakan metabolisme total (termasuk respirasi) tanah (lihat Macfadyen, 1970):

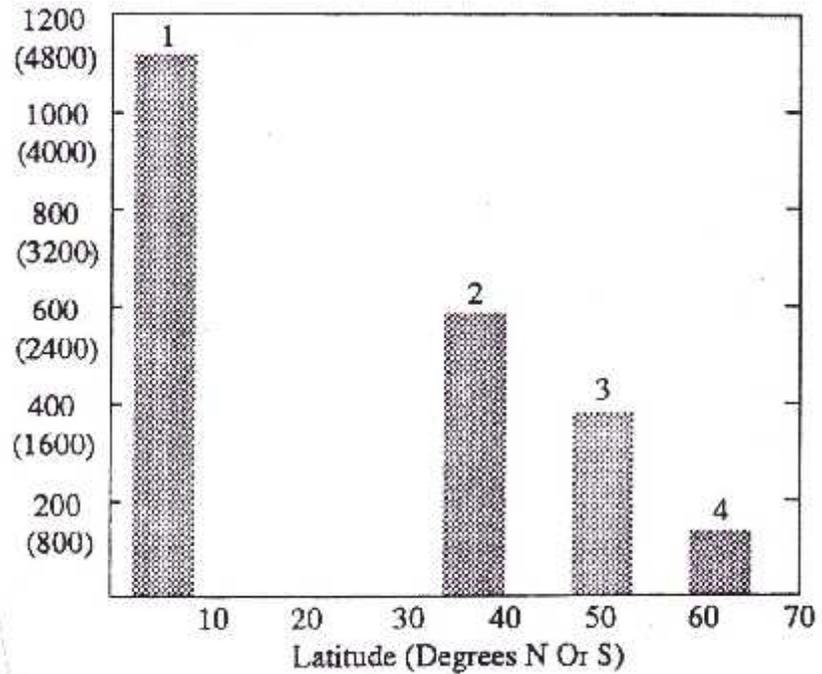
1. Metode perbedaan

Prinsip metode ini adalah pengurangan energi yang dikonsumsi oleh herbivora di atas tanah dari produksi bersih

primer dalam komunitas hutan dan lapang yang tua (Old field) jarang lebih dari 5-10% dari produksi primer bersih musiman (Lihat E. P. Odum, 1963; Bray, 1964), sisa 90% atau lebih dimetabolisme atau disimpan dalam subsistem litter tanah. Sebaliknya perbedaan perhitungan mengindikasikan bahwa hanya 40-60% mungkin terjangkau tanah penggembalaan padang rumput yang berat.

2. Metode Litter-fall (jatuhnya kotoran)

Pada sistem keadaan yang mantap, perbedaan jumlah dan nilai energi pada rohan (litter) input masuk dalam susistem tanah merupakan sebuah ukuran dekomposisi. Bray dan Goldan (litter fall) dalam hutan –hutan di dunia didapatkan seperti pada gambar 11.4, bahwa penurunan robohan/litter meningkat dengan pengurangan ketinggian tempat. Estimasi metabolisme didasarkan pada peluruhan robohan tertentu saja, tidak meliputi respirasi kehidupan akar-akar dan diasosiasikanya mikro-flora.



Gambar 11.1. Penurunan kotoran di hutan-hutan dalam hubungannya dengan ketinggian tempat

- 1 = hutan-hutan di katulistiwa
- 2 = hutan-hutan di daerah berkehangatan sedang
- 3 = hutan-hutan di daerah berkehangatan sedang
- 4 = hutan-hutan di Arotic-alpine

3. Pengukuran Langsung

Pada evolusi CO₂ dari tanah utuh dalam alam, pendapatan rata-rata pada pengukuran respirasi total tanah meliputi respirasi pada 3 kelompok biota. Metode ini lebih baik daripada permulaan, yang mana penggambaran udara dipermukaan tanah yang rumit memberikan pendugaan yang banyak dan juga tinggi, sejak CO₂

disimpan atau terperangkap dalam ruang tanah yang meliputi sejumlah *respiratory output* selama periode pengukuran.

Perbaikan metode menyertakan penggunaan alat yang baik kotak plastic atau silinder yang merangkum penggunaan CO₂ yang nyata selama pengukuran. Table 11.2 menunjukkan pemeriksaan penyebab yang baik dengan “perbedaan” dan pendekatan *litter fall* yang mengasumsikan respirasi akar dalam berbagai bentuk. Pengukuran lapang pada evolusi CO₂ menjadikan latihan penggolongan yang baik sejak digunakannya kpotak plastik atau silinder yang berisi beberapa KOH penyebab CO₂ dan sebuah alat titrasi sederhana.

Tabel 11.1. Evolusi CO₂ dari pengukuran di dasar hutan

Kcal/m ²	Liter		GMS CO ₂ /m ²
	CO ₂ /m ²		
Laju harian musimpanas	3,0	6,0	16,0
Laju harian dingin	1,2	2,4	6,4
Laju rata-rata 4060		116	1532

Sejak banyak organisme secara nyata menjadi bagian internal pada system perakaran, beberapa perbedaan tidak diartikan tersendiri dalam parakteknnya. Yang lebih penting sebagai catatan adalah respiurasi tanah yang besar karena berkopmbinasi antara mikroorganisme dengann akar, meso-, dan mikrofauna sangat sedikit menyokong. Bunt (1954), sebagai contoh, melaporkan bahwa nematode terhitung hanya 1 % pada respirasi akar. Englemann (1968) mendapatkan bahwa total aliran energi musiman pada Arthropoda

tanah hanya sekitar 2 kkl/m², kurang daripada 0,1 % respirasi liter tanah diperhatikan pada table 11.1.

Ini tidak berarti bahwa hewan tanah tidak penting. Ketika mereka selektif terhadap racun, dekomposisi dan siklus kembali mineral mengalami reduksi pengukurannya, konsekuensinya, racun insektisida pada kelompok ini adalah mengenai besarnya (Lihat Edwards, 1969)

Pada peta kontrol pada dasar hutan dan peta perlakuan dengan naphthaline pada konsentrasi yang membunuh arthropoda, tetapi tidak memberikan efek pada bakteri dan jamur.

Penggunaan litter bags telah menjadi metode populer untuk mempelajari dekomposisi, siklus mineral, dan kposisi biotik dari komponen pupuk kandang dari subsistem tanah. Penempatan sample pupuk kandang di dalam jala nil;on yang baik atau tas dari fiber glass, kecepatan dekomposisi dapat ditentukan oleh berat periodic dan mineral yang dilepaskan bila pupuk kandang tersebut dibweri label. Dengan sebuah pelacakan Patten dan Withanp (1967) melaporkan bahwa laboratorium teresterial mikromos tersusun dari komponen : pupuk kandang, tanah, mikroflora, milliapoda, dan leocaeta.

E. GUA

Gua yang besar menentukan temperature lingkungan konstan secara alam (mempunyai temperature rata-rata pada daerah permukaan yang ditempati), kecuali dekat mulut (biasanya disebut

twilight zone). Gua dihuni oleh heterotrof perairan dan terestrial, yang tergantung atas bahan-bahan organik yang tercuci di dalam atau dibawa oleh kelelawar atau hewan lain yang mencari makanan di luar, tetapi menggunakan gua sebagai tempat hidupnya. Karena makanan sangat jarang maka densitas populasi menjadi rendah.

Gua merupakan laboratorium alami untuk mempelajari evolusi karena tingkatan variasi dari hubungan tersembunyi dan isolasi dalam suatu seri kesempatan perubahan-perubahan dalam gua sangat spesifik.

Rantai makanan di dalam gua tergantung dari aliran tanah hutan atau subsistem tanah menjadi 3 sumber primer makanan untuk hewan-hewan dalam gua, yaitu :

1. Perubahan partikel-partikel organik
2. Bahan organik terlarut, diabsorpsi oleh *clays* (liat)
3. Bacteria

Bakteri dalam gua muncul menjadi representatif dari spesies bukan gua. Bakteri komosintesis kemungkinan ada, tetapi tidak diketahui bagaimana ia mendapat energi yang berguna dari bahan-bahan diperlukan. Hewan-hewan dalam gua berbeda sama sekali dari hewan permukaan tanah dan mempunyai adaptasi yang khusus.

BAB XII EKOLOGI ESTUARIA

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan di dunia yang mempunyai wilayah pantai dan laut yang cukup luas. Memiliki sekitar 17.508 pulau besar dan kecil dengan luas wilayah laut sekitar 5,8 juta km² dengan panjang garis pantai sekitar 81.000 km (Dahuri, 2000) serta 472 sungai besar dan sungai kecil (Departemen Kehutanan, 1999). Pada muara-muara sungai terbentuk ekosistem estuaria yang merupakan percampuran air tawar dan air laut yang menjadikan wilayah ini unik dengan terbentuknya air payau dengan salinitas yang berfluktuasi. Perbedaan salinitas mengakibatkan terjadinya lidah air tawar dan pergerakan massa di muara. Aliran air tawar dan air laut yang terus menerus membawa mineral, bahan organik, serta sedimen dari hulu sungai ke laut dan sebaliknya dari laut ke muara. Unsur hara ini mempengaruhi produktivitas wilayah perairan muara. Karena itu, produktivitas muara lebih tinggi dari produktivitas ekosistem laut lepas dan perairan tawar.

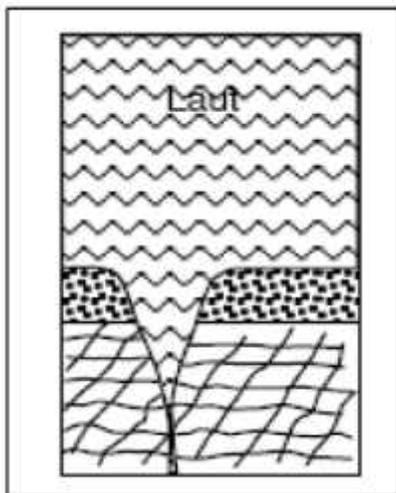
Estuaria merupakan ekosistem khas yang pada umumnya terdiri atas hutan mangrove, gambut, rawa payau dan daratan Lumpur. Ekosistem ini mempunyai fungsi yang sangat penting untuk mendukung berbagai kehidupan. Wilayah estuaria merupakan

habitat yang penting bagi sejumlah besar ikan dan udang untuk memijah dan membesarkan anak-anaknya. Beberapa larva ikan yang dipijahkan di laut lepas juga bermigrasi ke wilayah estuaria pada fase larvanya. Wilayah ini dapat dianggap sebagai wilayah perairan peralihan (ekoton) antara habitat air tawar dengan habitat laut yang sangat dipengaruhi oleh pasang surut dan karakter lokasinya serta morfologinya yang landai. Wilayah estuaria sangat rentang terhadap kerusakan dan perubahan alami atau buatan. Pembuangan limbah, penggunaan perairan sebagai sarana pengangkutan, serta berubahnya sistem daerah aliran sungai, merupakan sebagian dari penyebab degradasi kualitas ekosistem estuaria.

Estuaria merupakan salah satu bentuk dari ekosistem lahan basah, dimana lahan basah di Indonesia luasnya = 38 juta ha (Wibowo *et al.*, 1996). Kawasan lahan basah termasuk estuaria ini mengalami kerusakan yang sangat serius karena pertumbuhan populasi manusia dan pembangunan, yang antara lain berakibat terhadap menyusutnya hutan mangrove, hutan rawa dan hutan gambut beserta keanekaragaman spesies flora dan fauna di dalamnya, pencemaran air karena penggunaan pupuk dan racun hama dan penyakit serta berbagai industri dan kegiatan pertambangan. Termasuk masalah pelumpuran, karena kegiatan pertanian pada daerah atasnya yang tidak memperhatikan teknik-teknik konservasi tanah dan air. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan adanya pengelolaan wilayah esruaria yang berkelanjutan.

A. DEFINISI DAN TIPE ESTUARIA

Estuaria adalah bagian dari lingkungan perairan yang merupakan daerah pencampuran antara air laut dan air tawar yang berasal dari sungai, sumber air tawar lainnya (saluran air tawar dan genangan air tawar). Lingkungan estuaria merupakan peralihan antara darat dan laut yang sangat di pengaruhi oleh pasang surut, tetapi terlindung dari pengaruh gelombang laut (Kasim, 2005). Menurut Bengen, 2002 dan Pritchard, 1976 dalam Tiwow (2003), estuaria adalah perairan yang semi tertutup yang berhubungan bebas dengan laut, sehingga air laut dengan salinitas tinggi dapat bercampur dengan air tawar.



Gambar Pantai Estuaria



Gambar contoh dari Pantai Estuaria

Gambar 12.1. Pantai estuaria

Pencampuran air laut dan air tawar mempunyai pola pencampuran yang khusus. Berdasarkan pola pencampuran air laut,

secara umum terdapat 3 model estuaria yang sangat dipengaruhi oleh sirkulasi air, topografi, kedalaman dan pola pasang surut karena dorongan dan volume air akan sangat berbeda khususnya yang bersumber dari air sungai (Kasim, 2005). Berikut ini pola pencampuran air laut dan air tawar (Kasim, 2005).

1. Pola dengan dominasi air laut (*Salt wedge estuary*) yang ditandai dengan desakan dari air laut pada lapisan bawah permukaan air saat terjadi pertemuan antara air sungai dan air laut. Salinitas air dari estuaria ini sangat berbeda antara lapisan atas air dengan salinitas yang lebih rendah di banding lapisan bawah yang lebih tinggi.
2. Pola pencampuran merata antara air laut dan air sungai (*well mixed estuary*). Pola ini ditandai dengan pencampuran yang merata antara air laut dan air tawar sehingga tidak terbentuk stratifikasi secara vertikal, tetapi stratifikasinya dapat secara horizontal yang derajat salinitasnya akan meningkat pada daerah dekat laut.
3. Pola dominasi air laut dan pola pencampuran merata atau pola pencampuran tidak merata (*Partially mixed estuary*). Pola ini akan sangat labil atau sangat tergantung pada desakan air sungai dan air laut. Pada pola ini terjadi pencampuran air laut yang tidak merata sehingga hampir tidak terbentuk stratifikasi salinitas baik itu secara horizontal maupun secara vertikal.
4. Pada beberapa daerah estuaria yang mempunyai topografi unik, kadang terjadi pola tersendiri yang lebih unik. Pola ini cenderung ada jika pada daerah muara sungai tersebut mempunyai topografi

dengan bentukan yang menonjol membetuk semacam lekukan pada dasar estuaria. Tonjolan permukaan yang mencuat ini dapat menstagnankan lapisan air pada dasar perairan sehingga, terjadi stratifikasi salinitas secara vertikal. Pola ini menghambat turbulensi dasar yang hingga salinitas dasar perairan cenderung tetap dengan salinitas yang lebih tinggi.

Pencampuran air laut dan air tawar membuat estuaria sebagai lingkungan yang mempunyai unik daripada lingkungan lainnya. Keunikan tersebut, yaitu (Tiwow, 2003):

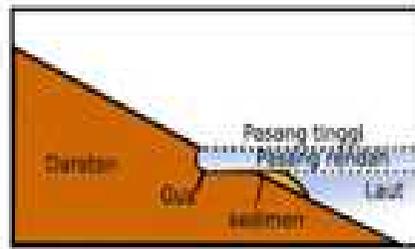
1. Tempat bertemunya arus air dengan arus pasang-surut yang berlawanan menyebabkan pengaruh kuat pada sedimentasi, pencampuran air, dan ciri-ciri fisika lainnya, serta membawa pengaruh besar pada biotanya.
2. Pencampuran kedua macam air tersebut menghasilkan suatu sifat fisika lingkungan khusus yang tidak sama dengan sifat air sungai maupun sifat air laut.
3. Perubahan yang terjadi akibat adanya pasang-surut mengharuskan komunitas di dalamnya melakukan penyesuaian secara fisiologis dengan lingkungan sekelilingnya.
4. Tingkat kadar garam di daerah estuaria tergantung pada pasang-surut air laut, banyaknya aliran air tawar dan arus-arus lainnya, serta topografi daerah estuaria tersebut.

Berdasarkan geomorfologi estuaria, sejarah geologi daerah, dan keadaan iklim yang berbeda, maka terdapat beberapa tipe estuaria. Tipe-tipe estuaria tersebut, yaitu (Nybakken, 1988):

1. Estuaria daratan pesisir (*coastal plain estuary*). Pembentukannya terjadi akibat kenaikan permukaan air laut yang menggenangi sungai di bagian pantai yang landai (Tiwow, 2003). Contoh estuaria daratan pesisir, yaitu di Teluk Chesapeake, Maryland dan Charleston, Carolina Selatan (ONR, tanpa tahun).
2. Estuaria tektonik. Terbentuk akibat aktivitas tektonik (gempa bumi atau letusan gunung berapi) yang mengakibatkan turunnya permukaan tanah yang kemudian digenangi oleh air laut pada saat pasang (Tiwow, 2003). Contohnya Teluk San Fransisco di California (ONR, tanpa tahun).
3. Gobah atau teluk semi tertutup. Terbentuk oleh adanya beting pasir yang terletak sejajar dengan garis pantai sehingga menghalangi interaksi langsung dan terbuka dengan perairan laut (Tiwow, 2003). Contohnya di sepanjang pantai Texas dan pantai Teluk Florida.
4. Fjord merupakan suatu teluk sempit (inlet) di antara tebing-tebing atau lahan terjal. Biasa dijumpai di Norwegia, Alaska, Selandia Baru, dll. Sebelumnya fjord ini merupakan sungai gletser yang terbentuk di wilayah pegunungan di kawasan pantai. Saat suhu menjadi hangat, sungai gletser ini mencair, akibatnya permukaan air laut naik dan membanjiri lembah di sela-sela pegunungan tersebut.



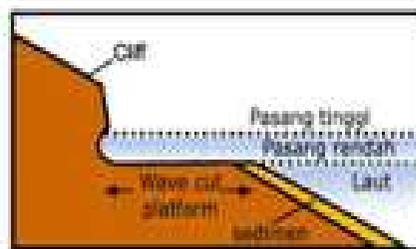
A. Gelombang mengikis batuan hingga membentuk notch



B. Notch terkikis hingga membentuk gua



(a)



(b)

Gambar 12.2. Pembentukan Fjord



Gambar 12.3. Contoh dari Pantai Fjord

Menurut Nybakken (1988), estuaria juga dapat dikelompokkan berdasarkan kondisi salinitasnya yaitu estuaria positif dan estuaria negatif. Estuaria positif atau estuaria baji garam membentuk suatu kesinambungan mulai dari estuaria dengan sedikit pencampuran dan baji garam yang sangat menonjol, tidak mencolok atau menonjol, sampai homogen atau sempurna karena menghasilkan salinitas yang sama secara vertikal dari permukaan sampai ke dasar pada setiap titik. Estuaria negatif dibentuk dari air laut yang datang, masuk ke permukaan, dan sedikit mengalami pengenceran karena pencampuran dengan air tawar yang jumlahnya sedikit. Kecepatan penguapan pada estuaria ini tinggi sehingga air permukaan menjadi hipersalin.

B. KARAKTER FISIK ESTUARIA

Perpaduan antara beberapa sifat fisik estuaria mempunyai peranan yang penting terhadap kehidupan biota estuaria. Beberapa sifat fisik yang penting adalah sebagai berikut :

1) Salinitas

Salinitas di estuaria dipengaruhi oleh musim, topografi estuaria, pasang surut, dan jumlah air tawar. Pada saat pasang-naik, air laut menjauhi hulu estuaria dan menggeser isohaline ke hulu. Pada saat pasang-turun, menggeser isohaline ke hilir. Kondisi tersebut menyebabkan adanya daerah yang salinitasnya berubah sesuai dengan pasang surut dan memiliki fluktuasi salinitas yang maksimum (Nybakken, 1988).

Rotasi bumi juga mempengaruhi salinitas estuaria yang disebut dengan kekuatan *Coriolis*. Rotasi bumi membelokkan aliran air di belahan bumi. Di belahan bumi utara, kekuatan *coriolis* membelokkan air tawar yang mengalir ke luar sebelah kanan jika melihat estuaria ke arah laut dan air asin mengalir ke estuaria digeser ke kanan jika melihat estuaria dari arah laut. Pembelokkan aliran air di belahan bumi selatan adalah kebalikan dari belahan bumi utara (Nybakken, 1988).

Salinitas juga dipengaruhi oleh perubahan penguapan musiman. Di daerah yang debit air tawar selama setengah tahun, maka salinitasnya menjadi tinggi pada daerah hulu. Jika aliran air tawar naik, maka gradien salinitas digeser ke hilir ke arah mulut estuaria (Nybakken, 1988). Pada estuaria dikenal dengan air interstitial yang berasal dari air berada di atas substrat estuaria. Air interstitial, lumpur dan pasir bersifat buffer terhadap air yang terdapat di atasnya. Daerah intertidal bagian atas (ke arah hulu) mempunyai salinitas tinggi daripada daerah intertidal bagian bawah (ke arah hilir).

2) Substrat

Dominasi substrat pada estuaria adalah lumpur yang berasal dari sediment yang dibawa ke estuaria oleh air laut maupun air tawar. Sungai membawa partikel lumpur dalam bentuk suspensi. Ion-ion yang berasal dari air laut menyebabkan partikel lumpur menjadi menggumpal dan membentuk partikel yang lebih besar, lebih berat, dan mengendap membentuk dasar lumpur yang khas.

Partikel yang lebih besar mengendap lebih cepat daripada partikel kecil. Arus kuat mempertahankan partikel dalam suspensi lebih lama daripada arus lemah sehingga substrat pada tempat yang arusnya kuat menjadi kasar (pasir atau kerikil) dan tempat yang arusnya lemah mempunyai substrat dengan partikel kecil berupa lumpur halus. Partikel yang mengendap di estuaria bersifat organik sehingga substrat menjadi kaya akan bahan organik (Nybakken, 1988).

3) Suhu

Suhu air di estuaria lebih bervariasi daripada suhu air di sekitarnya karena volume air estuaria lebih kecil daripada luas permukaan yang lebih besar. Hal tersebut menyebabkan air estuaria menjadi lebih cepat panas dan cepat dingin. Suhu air tawar yang dipengaruhi oleh perubahan suhu musiman juga menyebabkan suhu air estuaria lebih bervariasi. Suhu estuaria lebih rendah saat musim dingin dan lebih tinggi saat musim panas daripada daerah perairan sekitarnya. Suhu air estuaria juga bervariasi secara vertikal. Pada estuaria positif memperlihatkan bahwa pada perairan permukaan didominasi oleh air tawar, sedangkan untuk perairan dalam didominasi oleh air laut (Nybakken, 1988).

4) Aksi ombak dan arus

Perairan estuaria yang dangkal menyebabkan tidak terbentuknya ombak yang besar. Arus di estuaria disebabkan oleh pasang surut dan aliran sungai. Arus biasanya terdapat pada kanal.

Jika arus berubah posisi, kanal baru menjadi cepat terbentuk dan kanal lama menjadi tertutup (Nybakken, 1988).

5) Kekeruhan

Besarnya jumlah partikel tersuspensi dalam perairan estuaria pada waktu tertentu dalam setahun menyebabkan air menjadi sangat keruh. Kekeruhan tertinggi saat aliran sungai maksimum dan kekeruhan minimum di dekat mulut estuaria (Nybakken, 1988).

6) Oksigen

Kelarutan oksigen dalam air berkurang dengan naiknya suhu dan salinitas, maka jumlah oksigen dalam air akan bervariasi. Oksigen sangat berkurang di dalam substrat. Ukuran partikel sediment yang halus membatasi pertukaran antara air interstitial dengan kolom air di atasnya, sehingga oksigen menjadi sangat cepat berkurang (Nybakken, 1988).

C. ASPEK BIOLOGI KOMPOSISI BIOTA DAN PRODUKTIVITAS HAYATI

Di estuaria terdapat tiga komponen fauna, yaitu fauna lautan, air tawar dan payau. Komponen fauna yang terbesar didominasi oleh fauna lautan, yaitu hewan stenohalin yang terbatas kemampuannya dalam mentolerir perubahan salinitas (umumnya $> 30 ‰$) dan hewan eurihalin yang mempunyai kemampuan mentolerir berbagai penurunan salinitas di bawah $30 ‰$. Komponen air payau terdiri dari soesies organisme yang hidup di pertengahan daerah estuaria pada salinitas antara $5 - 30 ‰$. Spesies ini tidak ditemukan hidup pada

perairan laut maupun tawar. Komponen air tawar biasanya biasanya terdiri dari hewan yang tidak mampu mentolerir salinitas di atas 5 ‰ dan hanya terbatas pada bagian hulu estuaria .

Jumlah organisme yang mendiami estuaria jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan organisme yang hidup di perairan tawar dan laut. Sedikitnya jumlah spesies ini terutama disebabkan oleh fluktuasi kondisi lingkungan, sehingga hanya spesies yang memiliki kekhususan fisiologis yang mampu bertahan hidup di estuaria. Selain miskin dalam jumlah spesies fauna, estuaria juga miskin akan flora. Keruhnya perairan estuaria menyebabkan hanya tumbuhan mencuat yang dapat tumbuh mendominasi.

Secara fisik dan biologis, estuaria merupakan ekosistem produktif yang setaraf dengan hutan hujan tropik dan terumbu karang, karena :

1. Estuaria berperan sebagai jebak zat hara yang cepat di daur ulang.

Jebakan ini bersifat fisik dan biologis. Ekosistem estuaria mampu menyuburkan diri sendiri melalui :

- Dipertahankannya dan cepat di daur ulangnya zat-zat hara oleh hewan-hewan yang hidup di dasar esutaria seperti bermacam kerang dan cacing.
- Produksi detritus, yaitu partikel- partikel serasah daun tumbuhan akuatik makro (makrofiton akuatik) seperti lamun yang kemudian di makan oleh bermacam ikan dan udang pemakan detritus.
- Pemanfaatan zat hara yang terpendam jauh dalam dasar lewat aktivitas mikroba (organisme renik seperti bakteri), lewat akar tumbuhan yang masuk jauh kedalam dasar estuary, atau lewat

aktivitas hewan penggali liang di dasar estuaria seperti bermacam cacing.

2. Beragamnya komposisi tumbuhan di estuaria baik tumbuhan makro (makrofiton) maupun tumbuhan mikro (mikrofiton), sehingga proses fotosintesis dapat berlangsung sepanjang tahun.
3. Adanya fluktuasi permukaan air terutama akibat aksi pasang-surut, sehingga antara memungkinkan pengangkutan bahan makanan dan zat hara yang diperlukan berbagai organisme estuaria.

D. HABITAT ESTUARIA

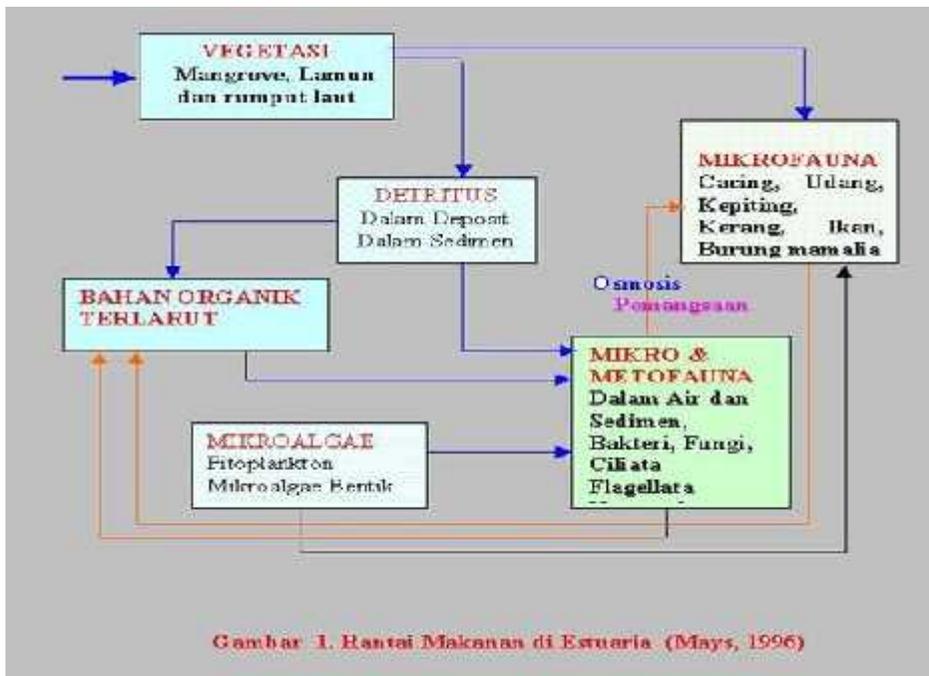
Kolom air di estuaria merupakan habitat untuk plankton (fitoplankton dan zooplankton), neuston (organisme setingkat plankton yang hidup di lapisan permukaan air) dan nekton (organisme makro yang mampu bergerak aktif). Di dasar estuaria hidup berbagai jenis organisme baik mikro maupun makro yang disebut bentos. Setiap kelompok organisme dalam habitanya menjalankan fungsi biologis masing-masing, misalnya fitoplankton sebagai produser melakukan aktivitas produksi melalui proses fotosintesa, bakteri melakukan perombakan bahan organik (organisme mati) menjadi nutrisi yang dapat dimanfaatkan oleh produser dalam proses fotosintesa. Dalam satu kelompok organisme (misalnya plankton atau bentos) maupun antar kelompok organisme (misalnya antara plankton dan bentos) terjalin suatu hubungan tropik (makan-memakan) satu sama lain, sehingga membentuk suatu hubungan jaringan makanan.

E. JARINGAN MAKANAN DI ESTUARIA

Dasar dari jaring makanan di estuaria adalah konversi energi matahari menjadi energi dalam bentuk makanan yang dilakukan oleh tumbuhan rawa. Saat tumbuhan mati, protozoa dan mikroorganisme lain mengkonsumsi material tumbuhan yang mati tersebut. Invertebrata kecil merupakan makanan bagi detritus. Detritus kemudian di makan oleh ikan, burung, serta predator lainnya (Hinterland Who's Who, 1993).

Melimpahnya sumber makanan di estuaria dan sedikitnya predator menjadikan estuaria sebagai tempat hidup anak berbagai binatang yang fase dewasanya tidak berada di estuaria. Estuaria juga merupakan tempat mencari makan bagi binatang dewasa seperti ikan dan burung yang bermigrasi (Nybakken, 1988).

Pada ekosistem estuaria dikenal 3 (tiga) tipe rantai makanan yang didefinisikan berdasarkan bentuk makanan atau bagaimana makanan tersebut dikonsumsi : grazing, detritus dan osmotik. Fauna di estuaria, seperti udang, kepiting, kerang, ikan, dan berbagai jenis cacing memproduksi dan saling terkait melalui suatu rantai dan jaring makanan yang kompleks.



Gambar 12.4. Rantai makanan di estuaria

Berdasarkan adaptasinya organisme di lingkungan estuaria mempunyai 3 (tiga) tipe adaptasi (Kennish, 1990). yaitu :

1. Adaptasi morfologis : organisme yang hidup di Lumpur memiliki rambut-rambut halus (setae) untuk menghambat penyumbatan-penyumbatan permukaan ruang pernapasan oleh partikel Lumpur.
2. Adaptasi fisiologis : berkaitan dengan mempertahankan keseimbangan ion cairan tubuh dalam menghadapi fluktuasi salinitas eksternal.
3. Adaptasi tingkah laku: pembuatan lubang ke dalam Lumpur oleh organisme, khususnya invertebrata.

F. PERAN EKOLOGIS ESTUARIA

Secara singkat, peran ekologi estuaria yang penting adalah :

- Merupakan sumber zat hara dan bahan organik bagi bagian estuari yang jauh dari garis pantai maupun yang berdekatan denganya, lewat sirkulasi pasang surut (*tidal circulation*).
- Menyediakan habitat bagi sejumlah spesies ikan yang ekonomis penting sebagai tempat berlindung dan tempat mencari makan (*feeding ground*).
- Memenuhi kebutuhan bermacam spesies ikan dan udang yang hidup dilepas pantai, tetapi bermigrasi keperairan dangkal dan berlindung untuk memproduksi dan/atau sebagai tempat tumbuh besar (*nursery ground*) anak mereka.
- Sebagai potensi produksi makanan laut di estuaria yang sedikit banyak didiamkan dalam keadaan alami. Kijing yang bernilai komersial (*Rangia euneata*) memproduksi 2900 kg daging per ha dan 13.900 kg cangkang per ha pada perairan tertentu di Texas. Andaikata 2 kkal per gram berat basah, hasil ini berarti sekitar 580 kkal per m, atau sebanding dengan hasil ikan dari kolam buatan yang di kelola dan di pupuk paling intensif, tentu saja dengan mengingat bahwa tempat pemeliharaan kijing memerlukan masukan energi dari perairan yang berdekatan.
- Sebagai tempat budidaya tiram dengan rakit seperti diterapkan di jepangan, dapat meningkatkan lima sampai sepuluh kali dari panen yang diperoleh populasi liar. Sehingga dapat menghasilkan makanan berprotein sebanyak 2.000 kkal per m setiap tahun (Burukawa, 1968).

Secara umum estuaria dimanfaatkan oleh manusia sebagai berikut ;

- 1) Sebagai tempat pemukiman
- 2) Sebagai tempat penangkapan dan budidaya sumberdaya ikan
- 3) Sebagai jalur transportasi
- 4) Sebagai pelabuhan dan kawasan industri
- 5) Sebagai areal hutan
- 6) Sebagai tempat pariwisata
- 7) Sebagai tempat perkebunan



BAB XIII EKOLOGI LAUT

A. LINGKUNGAN LAUT

Ekologi laut merupakan suatu kumpulan integral dari berbagai komponen abiotik (fisika – kimia) dan komponen biotik (organisme hidup) yang berkaitan satu sama lain, dan saling berinteraksi membentuk suatu unit fungsional. Komponen-komponen secara fungsional dipisahkan satu sama lain dalam ekologi laut yang terbagi atas lima ekosistem. Apabila terjadi suatu perubahan dalam suatu ekosistem yang terdapat dalam ekologi laut maka akan menyebabkan perubahan pada ekosistem lainnya.

Air laut memiliki kadar garam karena bumi dipenuhi dengan garam mineral yang terdapat di dalam batu-batuan dan tanah. Contohnya natrium, kalium, kalsium, dll. Apabila air sungai mengalir ke lautan, air tersebut membawa garam. Ombak laut yang memukul pantai juga dapat menghasilkan garam yang terdapat pada batu-batuan. Lama-kelamaan air laut menjadi asin karena banyak mengandung garam.

Dalam ekologi laut terdapat lima ekosistem yang mempunyai ciri khas tersendiri, baik menurut morfologi maupun fisiologinya. Sebagai akibat ulah manusia ekologi lautpun menjadi rusak, hal ini perlu diperhatikan guna lingkungan hidup yang sangat bermanfaat bagi semua

mahluk hidup di bumi. Pada masa-masa kini, laut-laut di Indonesia berada pada fase yang berbahaya. Ombak-ombak tinggi dan angin yang kencang menyebabkan kegiatan pelayaran dan kehidupan tepi laut terganggu, terutama bagi nelayan yang menggantungkan kehidupannya pada hasil laut

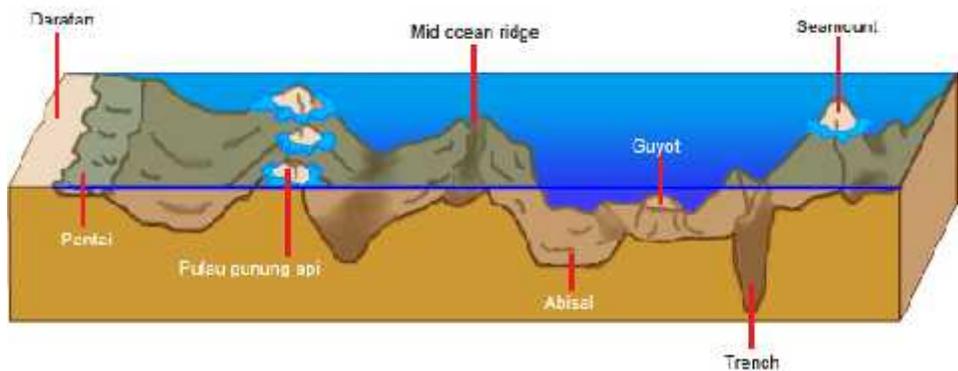
Ekologi laut merupakan ilmu yang mempelajari tentang Ekosistem air laut. Ekosistem air laut dibedakan atas lautan, pantai, estuari, dan terumbu karang, dan padang lamun. Berikut penjelasan tentang ekologi laut. Laut, menurut sejarahnya, terbentuk 4,4 milyar tahun yang lalu, dimana awalnya bersifat sangat asam dengan air yang mendidih (dengan suhu sekitar 100°C) karena panasnya Bumi pada saat itu. Asamnya air laut terjadi karena saat itu atmosfer Bumi dipenuhi oleh karbon dioksida. Keasaman air inilah yang menyebabkan tingginya pelapukan yang terjadi yang menghasilkan garam-garaman yang menyebabkan air laut menjadi asin seperti sekarang ini. Pada saat itu, gelombang tsunami sering terjadi karena seringnya asteroid menghantam Bumi. Pasang surut laut yang terjadi pada saat itu juga bertipe mamut atau tinggi / besar sekali tingginya karena jarak Bulan yang begitu dekat dengan Bumi. Di dalam laut terdapat beberapa ekosistem hewan maupun tumbuhan. Ekosistem air laut dibedakan menjadi ekosistem lautan, pantai, estuari, terumbu karang dan padang lamun. Berikut adalah penjelasan tentang ekologi laut.

B. EKOSISTEM LAUT

Habitat air laut (*oceanic*) ditandai oleh salinitas yang tinggi dengan ion Cl^- mencapai 55% terutama di daerah laut tropik, karena suhunya tinggi dan penguapan besar. Di daerah tropik, suhu laut sekitar 25°C . Perbedaan suhu bagian atas dan bawah tinggi. Batas antara lapisan air yang panas di bagian atas dengan air yang dingin di bagian bawah disebut daerah *termocline*.

Di daerah dingin, suhu air laut merata sehingga air dapat bercampur, maka daerah permukaan laut tetap subur dan banyak plankton serta ikan. Gerakan air dari pantai ke tengah menyebabkan air bagian atas turun ke bawah dan sebaliknya, sehingga memungkinkan terbentuknya rantai makanan yang berlangsung baik. Habitat laut dapat dibedakan berdasarkan kedalamannya dan wilayah permukaannya secara horizontal. Adapun ciri-ciri dari habitat laut, yaitu:

- Variasi temperature atau suhu bervariasi;
- Kadar garam atau salinitas atau tingkat keasinan tinggi;
- Penetrasi dari cahaya matahari tinggi;
- Ekosistem tidak dipengaruhi oleh iklim dan cuaca alam sekitar;
- Aliran atau arus laut terus bergerak karena perbedaan iklim, temperature dan rotasi bumi;
- Habitat di laut saling berhubungan atau berkaitan satu sama lain; dan
- Komunitas air asin terdiri dari produsen, konsumen, zooplankton dan decomposer.



Gambar 13.1. Relief dasar laut

- a. Menurut kedalamannya, ekosistem air laut dibagi sebagai berikut.
- Litoral merupakan daerah yang berbatasan dengan darat.
 - Neretik merupakan daerah yang masih dapat ditembus cahaya matahari sampai bagian dasar dalamnya ± 300 meter.
 - Batial merupakan daerah yang dalamnya berkisar antara 200-2500 m
 - Abisal merupakan daerah yang lebih jauh dan lebih dalam dari pantai (1.500-10.000 m).



Gambar 13.2. Wilayah laut menurut kedalamannya

- b. Menurut wilayah permukaannya secara horizontal, berturut-turut dari tepi laut semakin ke tengah, laut dibedakan sebagai berikut :
- **Epipelagik** merupakan daerah antara permukaan dengan kedalaman air sekitar 200 m.
 - **Mesopelagik** merupakan daerah dibawah epipelagik dengan kedalaman 200-1000 m. Hewannya misalnya ikan hiu.
 - **Batiopelagik** merupakan daerah lereng benua dengan kedalaman 200-2.500 m. Hewan yang hidup di daerah ini misalnya gurita.
 - **Abisalpelagik** merupakan daerah dengan kedalaman mencapai 4.000m; tidak terdapat tumbuhan tetapi hewan masih ada. Sinar matahari tidak mampu menembus daerah ini.

- **Hadalpelagik** merupakan bagian laut terdalam (dasar). Kedalaman lebih dari 6.000 m. Di bagian ini biasanya terdapat lele laut dan ikan Taut yang dapat mengeluarkan cahaya. Sebagai produsen di tempat ini adalah bakteri yang bersimbiosis dengan karang tertentu.



Gambar 13.3. Pembagian wilayah laut

Di laut, hewan dan tumbuhan tingkat rendah memiliki tekanan osmosis sel yang hampir sama dengan tekanan osmosis air laut. Hewan tingkat tinggi beradaptasi dengan cara banyak minum air, pengeluaran urin sedikit, dan pengeluaran air dengan cara osmosis melalui insang. Garam yang berlebihan diekskresikan melalui insang secara aktif. Tumbuhan yang hidup di laut yaitu contohnya: Tumbuhan lamun. Sedangkan organisme-organisme yang hidup di laut antara satu

pembagian daerah dengan daerah lain berbeda-beda. Berikut gambarannya :

- Organisme yang terdapat di zona *Pelagic* laut : *Chaetoceros*; *Biddulphia*; *Nitzchia*; *Gymnodinium*; *Talassiosira*; *ceratium*; *Coccolithophorids*; *Favella*; *Globigerina*; *Protocystis*; *Clione*; *Calanus*; *Pelagia*; *Tomopteris*; *Saggita*; *Euphausia*; *Balaenoptera*; *Physeter*; *Apherusa*; *Cyloccsalpa*.
- Ikan-ikan yang terdapat di kedalaman laut: *Argyropelecus*; *Bthypterois*; *Linophryne*; (*Lasiognatus*; *Malacostus*; *Edriolynchus*; *Gigantactis*; *Macropharynx*
- Binatang bentik yang terdapat di laut dalam : *Eremicaster*; *Ophiura*; *Odostomia*; *Diastylis*; *Ischnomesus*; *Storothyngura*; *Neotanais*.
- Organisme yang terdapat di zona neritik laut. *Ulva*; *Ectocarpus*; *Alaria*; *Sargassum* alga cokelat; *Rhodimonia*; *Polyshiphonia*; *Podon*; *Phtisicia*; *Thia* larva; *Branacle nauplius*; *Acartia*; *Phyllosoma* larva dari lobster; *Plathynereis*; *Ostrea*; *Snail Larva*; *Larva Brittle Bintang*; *Gadus*; *Solea*.

1. Ekosistem Pantai



Gambar 13.4. Pantai

Ekosistem pantai letaknya berbatasan dengan ekosistem darat, laut, dan daerah pasang surut. Ekosistem pantai dipengaruhi oleh siklus harian pasang surut laut. Organisme yang hidup di pantai memiliki adaptasi struktural sehingga dapat melekat erat di substrat keras. Sebagai daerah perbatasan antara ekosistem laut dan ekosistem darat hampasan gelombang dan hembusan angin maka pasir dari pantai membentuk gundukan ke arah darat. Setelah gundukan pasir itu biasanya terdapat hutan yang dinamakan hutan pantai.

Perubahan bentuk atau lebih dikenal sebagai morfologi pantai merupakan hasil rangkaian proses pantai. Proses pantai yang sangat dominan terjadi di Indonesia adalah erosi pantai. Proses pantai mencakup sirkulasi arus dan dinamika gelombang serta interaksinya dengan sedimen.

Arus yang terjadi di pantai berasal dari arus laut global, arus akibat angin, arus akibat pasang surut, ataupun arus akibat gelombang. Arus global, arus akibat angin, dan arus pasang surut disebut shelf current atau coastal current. Sementara itu, arus yang disebabkan gelombang dibedakan menjadi littoral current dan orbital current. Arus litoral terjadi bila arah gelombang membentuk sudut dengan garis pantai.

Arus orbital gelombang adalah arus yang disebabkan oleh kecepatan partikel yang arahnya maju mundur searah dengan arah gelombang. Besar arus orbital bergantung pada tinggi dan periode gelombang. Panjang daerah pengaruh arus orbital ini sebanding dengan panjang gelombang.

Arus gelombang biasanya terjadi pada daerah antara gelombang pecah dan garis pantai (surf-zone). Kedua arus inilah yang berperan dominan dalam proses erosi pantai.

Mekanisme gelombang di surf zone dimulai dengan terjadinya gelombang pecah pada kedalaman kira-kira 1,25 kali tinggi gelombang. Gelombang pecah ini membentuk bore yang merayap ke pantai dan naik ke swash zone, kemudian kembali ke laut. Swash zone hanya sewaktu-waktu terendam oleh air, dan dalam perjalanannya kembali ke laut, arus akan membawa material sedimen. Energi eksternal ini bekerja secara kontinu sepanjang pantai. Pada bagian yang relatif tidak memiliki daya tahan yang tinggi, relatif lebih cepat terkikis dan sedimen akan terangkut bersama arus balik ke laut (backwash). Terjadilah keseimbangan baru yang akan mempengaruhi bentuk garis pantai.

Tumbuhan pada hutan pantai cukup beragam. Tumbuhan tersebut bergerombol membentuk unit-unit tertentu sesuai dengan habitatnya. Suatu unit vegetasi yang terbentuk karena habitatnya disebut formasi. Setiap formasi diberi nama sesuai dengan spesies tumbuhan yang paling dominan. Di daerah pasang surut sendiri dapat terbentuk hutan, yaitu hutan bakau. Hutan bakau biasanya sangat sukar ditempuh manusia karena banyaknya akar dan dasarnya terdiri atas lumpur.

Daerah paling atas pantai hanya terendam saat pasang naik tinggi. Daerah ini dihuni oleh beberapa jenis ganggang, moluska, dan remis yang menjadi konsumsi bagi kepiting dan burung pantai. Daerah tengah pantai terendam saat pasang tinggi dan pasang rendah. Daerah ini dihuni oleh

ganggang, porifera, anemon laut, remis dan kerang, siput herbivora dan karnivora, kepiting, landak laut, bintang laut, dan ikan-ikan kecil.

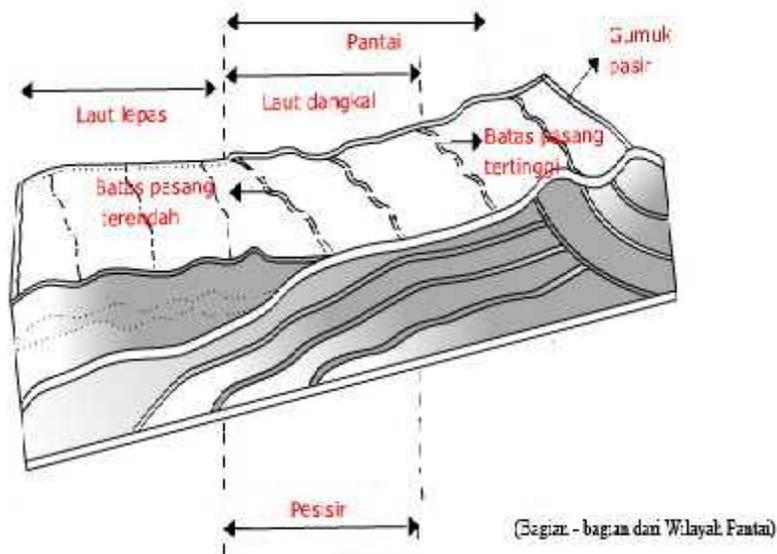
Daerah pantai terdalam terendam saat air pasang maupun surut. Daerah ini dihuni oleh beragam invertebrata dan ikan serta rumput laut. Berdasarkan susunan vegetasinya, ekosistem hutan pantai dapat dibedakan menjadi dua, yaitu formasi Pres-Caprae dan formasi Baringtonia

a. Formasi Pres-Caprae

Dinamakan demikian karena yang paling banyak tumbuh di gundukan pasir adalah tumbuhan *Ipomoea pes caprae* yang tahan terhadap hempasan gelombang dan angin; tumbuhan ini menjalar dan berdaun tebal. Tumbuhan lainnya adalah *Spinifex littorius* (rumput angin), *Vigna*, *Euphorbia atoto*, dan *Canaualia martina*. Lebih ke arah darat lagi ditumbuhi *Crinum asiaticum* (bakung), *Pandanus tectorius* (pandan), dan *Scaeuola Fruescens* (babakoan).

b. Formasi *Baringtonia*

Daerah ini didominasi tumbuhan baringtonia, termasuk di dalamnya *Wedelia*, *Thespesia*, *Terminalia*, *Guettarda*, dan *Erythrina*.



Gambar 13.5. Bagian-bagian wilayah pantai

Bila tanah di daerah pasang surut berlumpur, maka kawasan ini berupa hutan bakau yang memiliki akar napas. Akar napas merupakan adaptasi tumbuhan di daerah berlumpur yang kurang oksigen. Selain berfungsi untuk mengambil oksigen, akar ini juga dapat digunakan sebagai penahan dari pasang surut gelombang. Yang termasuk tumbuhan di hutan bakau antara lain *Nypa*, *Acathus*, *Rhizophora*, dan *Cerbera*.

Jika tanah pasang surut tidak terlalu basah, pohon yang sering tumbuh adalah: *Heritica*, *Lumnitzera*, *Acgicras*, dan *Cylocarpus*.

Bagi kehidupan, terutama di daerah tropis pantai dapat dimanfaatkan sebagai :

1. Areal tambak garam
2. Daerah pertanian pasang surut
3. Wilayah perkebunan kelapa dan pisang
4. Objek pariwisata

5. Daerah pengembangan industri kerajinan rakyat bercorak khas daerah pantai, dan lain-lain.

2. Ekosistem Terumbu Karang



Gambar 13.6. Ekosistem terumbu karang

Istilah terumbu karang tersusun atas dua kata, yaitu *terumbu* dan *karang*, yang apabila berdiri sendiri akan memiliki makna yang jauh berbeda bila kedua kata tersebut digabungkan. Istilah terumbu karang sendiri sangat jauh berbeda dengan karang terumbu, karena yang satu mengindikasikan suatu ekosistem dan kata lainnya merujuk pada suatu komunitas bentik atau yang hidup di dasar substrat. Berikut ini adalah definisi singkat dari terumbu, karang, karang terumbu, dan terumbu karang.

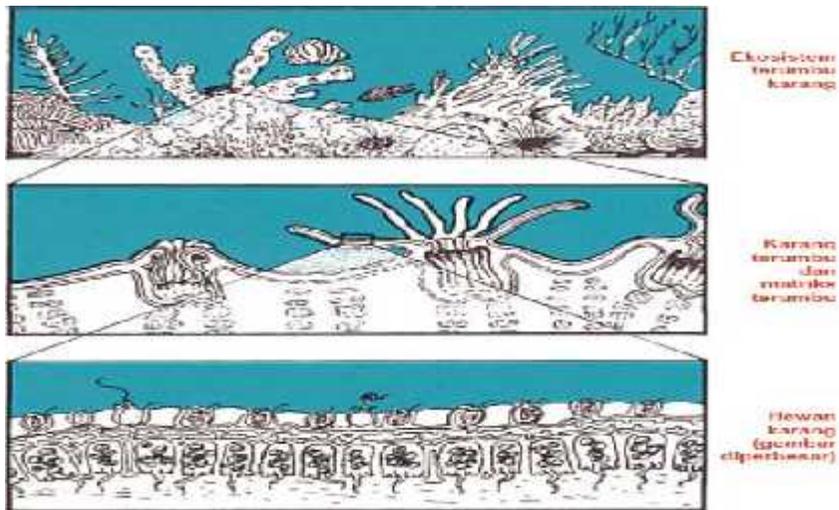
a. Terumbu Reef

Endapan masif batu kapur (limestone), terutama kalsium karbonat (CaCO_3), yang utamanya dihasilkan oleh hewan karang dan biota-biota lain yang mensekresi kapur, seperti alga berkapur dan moluska. Konstruksi batu kapur biogenis yang menjadi struktur dasar suatu ekosistem pesisir. Dalam dunia navigasi laut, terumbu adalah punggung laut yang terbentuk oleh batu karang atau pasir di dekat permukaan air. Karang Coral, disebut juga karang batu (stony coral), yaitu hewan dari Ordo Scleractinia, yang mampu mensekresi CaCO_3 . Hewan karang tunggal umumnya disebut polip.

b. Karang terumbu.

Pembangun utama struktur terumbu, biasanya disebut juga sebagai karang hermatipik (hermatypic coral). Berbeda dengan batu karang (rock), yang merupakan benda mati.

Ekosistem di dasar laut tropis yang dibangun terutama oleh biota laut penghasil kapur (CaCO_3) khususnya jenis-jenis karang batu dan alga berkapur, bersama-sama dengan biota yang hidup di dasar lainnya seperti jenis-jenis moluska, krustasea, ekinodermata, polikhaeta, porifera, dan tunikata serta biota-biota lain yang hidup bebas di perairan sekitarnya, termasuk jenis-jenis plankton dan jenis-jenis nekton.



Gambar 13.7. Ekosistem terumbu karang; karang terumbu dan hewan karang

c. Tipe-tipe terumbu karang

Berdasarkan bentuk dan hubungan perbatasan tumbuhnya terumbu karang dengan daratan (land masses) terdapat tiga klasifikasi tipe terumbu karang yang sampai sekarang masih secara luas dipergunakan. Ketiga tipe tersebut adalah:

- Terumbu karang tepi (fringing reefs)

Terumbu karang tepi atau karang penerus berkembang di mayoritas pesisir pantai dari pulau-pulau besar. Perkembangannya bisa mencapai kedalaman 40 meter dengan pertumbuhan ke atas dan ke arah luar menuju laut lepas. Dalam proses perkembangannya, terumbu ini berbentuk melingkar yang ditandai dengan adanya bentukan ban atau bagian endapan karang mati yang mengelilingi pulau. Pada pantai yang curam, pertumbuhan terumbu jelas mengarah secara vertikal. Contoh: Bunaken (Sulawesi), P. Panaitan (Banten), Nusa Dua (Bali).

- Terumbu karang penghalang (barrier reefs)

Terumbu karang ini terletak pada jarak yang relatif jauh dari pulau, sekitar 0.52 km ke arah laut lepas dengan dibatasi oleh perairan berkedalaman hingga 75 meter. Terkadang membentuk lagoon (kolom air) atau celah perairan yang lebarnya mencapai puluhan kilometer. Umumnya karang penghalang tumbuh di sekitar pulau sangat besar atau benua dan membentuk gugusan pulau karang yang terputus-putus. Contoh: Great Barrier Reef (Australia), Spermonde (Sulawesi Selatan), Banggai Kepulauan (Sulawesi Tengah).

- Terumbu karang cincin (atolls)

Terumbu karang yang berbentuk cincin yang mengelilingi batas dari pulau-pulau vulkanik yang tenggelam sehingga tidak terdapat perbatasan dengan daratan. Menurut Darwin, terumbu karang cincin merupakan proses lanjutan dari terumbu karang penghalang, dengan kedalaman rata-rata 45 meter. Contoh: Taka Bone Rate (Sulawesi), Maratua (Kalimantan Selatan), Pulau Dana (NTT), Mapia (Papua)



Gambar 13.8. Tipe-tipe terumbu karang, yaitu terumbu karang tepi (kiri), terumbu karang penghalang (tengah), dan terumbu karang cincin (kanan).1

Namun demikian, tidak semua terumbu karang yang ada di Indonesia bisa digolongkan ke dalam salah satu dari ketiga tipe di atas. Dengan demikian, ada satu tipe terumbu karang lagi yaitu:

- Terumbu karang datar/Gosong terumbu (*patch reefs*)

Gosong terumbu (*patch reefs*), terkadang disebut juga sebagai pulau datar (*flat island*). Terumbu ini tumbuh dari bawah ke atas sampai ke permukaan dan, dalam kurun waktu geologis, membantu pembentukan pulau datar. Umumnya pulau ini akan berkembang secara horizontal atau vertikal dengan kedalaman relatif dangkal.

3. Ekosistem estuaria

Estuari (muara) merupakan tempat bersatunya sungai dengan laut. Estuari sering dipagari oleh lempengan lumpur intertidal yang luas atau rawa garam. Salinitas air berubah secara bertahap mulai dari daerah air tawar ke laut. Salinitas ini juga dipengaruhi oleh siklus harian dengan pasang surut airnya. Nutrien dari sungai memperkaya estuari.

Komunitas tumbuhan yang hidup di estuari antara lain rumput rawa garam, ganggang, dan fitoplankton. Komunitas hewannya antara lain berbagai cacing, kerang, kepiting, dan ikan. Bahkan ada beberapa invertebrata laut dan ikan laut yang menjadikan estuari sebagai tempat kawin atau bermigrasi untuk menuju habitat air tawar. Estuari juga merupakan tempat mencari makan bagi vertebrata semi air, yaitu unggas air. Estuaria adalah suatu perairan semi tertutup yang terdapat di hilir sungai dan masih berhubungan dengan laut, sehingga memungkinkan terjadinya pencampuran air laut dan air tawar dari sungai atau Drainase yang berasal dari muara sungai, teluk, rawa pasang surut.

Bentuk estuaria bervariasi dan sangat bergantung pada besar kecilnya air sungai, kisaran pasang surut, dan bentuk garis pantai. Kebanyakan estuaria didominasi substrat Lumpur yang berasal dari endapan yang dibawa oleh air tawar maupun air laut. Karena partikel yang mengendap kebanyakan bersifat organik, substrat dasar estuaria biasanya kaya akan bahan organik. Bahan organik ini menjadi cadangan makanan utama bagi organisme estuaria.

1. Hewan

- Spesies endemik (seluruh hidupnya tinggal di estuaria) seperti berbagai macam kerang dan kepiting serta berbagai macam ikan.
- Spesies yang tinggal di estuaria untuk sementara seperti larva, beberapa spesies udang dan ikan yang setelah dewasa bermigrasi ke laut.
- Spesies ikan yang menggunakan estuaria sebagai jalur imigrasi dari laut ke sungai dan sebaliknya seperti sidat dan ikan salmon.

2. Tumbuhan

- Tumbuhan Lamun (sea grass)
- Algae makro (sea weeds) yang tumbuh di dasar perairan.
- Algae mikro yang hidup sebagai plankton nabati atau hidup melekat pada daun lamun.

Secara singkat, peran ekologi estuaria yang penting adalah :

- Merupakan sumber zat hara dan bahan organik bagi bagian estuari yang jauh dari garis pantai maupun yang berdekatan dengannya, lewat sirkulasi pasang surut (*tidal circulation*).

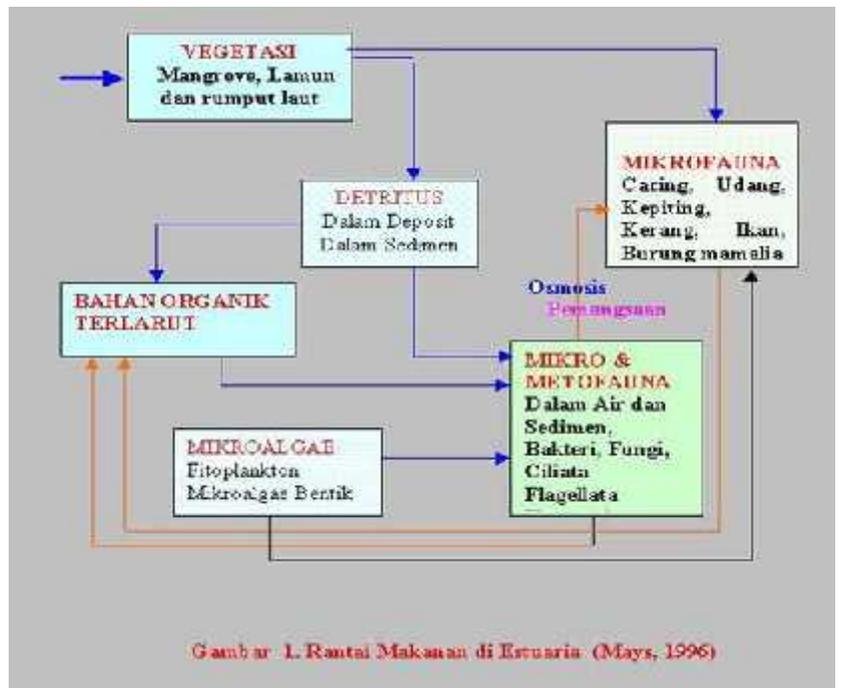
- Menyediakan habitat bagi sejumlah spesies ikan yang ekonomis penting sebagai tempat berlindung dan tempat mencari makan (feeding ground).
- Memenuhi kebutuhan bermacam spesies ikan dan udang yang hidup dilepas pantai, tetapi bermigrasi keperairan dangkal dan berlindung untuk memproduksi dan/atau sebagai tempat tumbuh besar (nursery ground) anak mereka.
- Sebagai potensi produksi makanan laut di estuaria yang sedikit banyak didiamkan dalam keadaan alami. Kijing yang bernilai komersial (*Rangia euneata*) memproduksi 2900 kg daging per ha dan 13.900 kg cangkang per ha pada perairan tertentu di Texas.
- Sebagai tempat budidaya tiram dengan rakit seperti diterapkan di Jepang, dapat meningkatkan lima sampai sepuluh kali dari panen yang diperoleh populasi liar. Sehingga dapat menghasilkan makanan berprotein sebanyak 2.000 kkal per m setiap tahun.

Berdasarkan pola sirkulasi dan stratifikasi air estuaria dibagi dalam tiga tipe:

- **Estuaria berstratifikasi sempurna /nyata atau estuaria baji garam.** Dirikan oleh adanya batas yang jelas antara air tawar dan air asin. Estuaria tipe ini ditemukan di daerah-daerah dimana aliran air tawar dari sungai besar lebih dominan dari pada intrusi air asin dari laut yang dipengaruhi oleh pasang surut.

- **Estuaria berstratifikasi sebagian/parsial** merupakan tipe yang paling umum dijumpai. Pada estuaria ini, aliran air tawar dari sungai seimbang dengan air laut yang masuk melalui arus pasang, pencampuran air dapat terjadi karena adanya turbulensi yang berlangsung secara berkala oleh aksi pasang surut.
- **Estuaria campuran sempurna atau estuaria homogen vertical.** Estuaria tipe didapatkan di lokasi-lokasi dimana arus pasang-surut sangat dominan dan kuat, sehingga air estuaria tercampur sempurna dan tidak terdapat stratifikasi

Pada ekosistem estuaria dikenal 3 (tiga) tipe rantai makanan yang didefinisikan berdasarkan bentuk makanan atau bagaimana makanan tersebut dikonsumsi : grazing, detritus dan osmotik. Fauna di estuaria, seperti udang, kepiting, kerang, ikan, dan berbagai jenis cacing memproduksi dan saling terkait melalui suatu rantai dan jaring makanan yang kompleks .

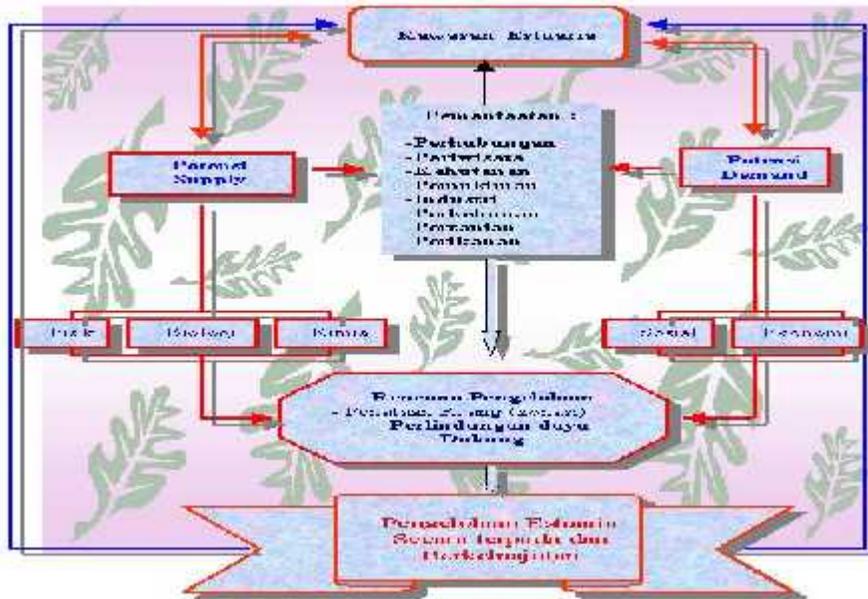


Gambar 13.9. Rantai makanan di estuaria

Pemanfaatan dalam kawasan estuaria meliputi kegiatan perikanan, kehutanan, industri, perhubungan, pariwisata, pertanian, perkebunan dan permukiman, merupakan faktor penentu ketiga yang perlu dipelajari untuk melakukan perubahan ke arah penyempurnaan pengelolaan demi terwujudnya kelestarian sumberdaya alam dan pembangunan di kawasan Estuarai.

Perencanaan dan pengelolaan kawasan estuaria didekati dengan menggunakan potensi biofisik dan sosial ekonomi serta penataan ruang kawasan, dilakukan analisis terhadap ketiga komponen penentu yang meliputi potensi suplai, potensi demand dan pemanfaatan untuk menentukan kondisi sumberdaya alam dan kebutuhan manusia dalam konteks pembangunan yang berkelanjutan. Kerangka pendekatan

pemikiran perencanaan pengelolaan disajikan pada Gambar 13.10 di bawah ini.



Gambar 13.10. Kerangka pemikiran pengelolaan estuaria

4. Ekosistem Tumbuhan Lamun

Padang lamun menyebar hampir di seluruh kawasan perairan pantai. Anda akan sangat mudah mengenali tumbuhan ini. Padang lamun biasanya sangat mirip dan bahkan menyerupai padang rumput di daratan dan hidup pada kedalaman yang relative dangkal (1-10 meter) kecuali beberapa jenis seperti *Halodule* sp., *Syringodium* sp. dan *Thalassodendrum* sp., yang juga di temukan pada kedalaman sampai dengan 20 meter dengan penetrasi cahaya yang relative rendah. Malah pernah dilaporkan jenis *Halophila* yang di temukan pada kedalaman 90 meter oleh Taylor (1928) yang ditulis dalam Den Hartog (1970). Namun

umumnya sebagian besar padang lamun menyebar pada kedalaman 1 - 10 meter. Di beberapa perairan dangkal, kita dapat menyaksikan padang lamun dengan kepadatan yang cukup tinggi yang memberikan kesan hijau pada dasar perairan.

Tumbuhan lamun yaitu merupakan satu-satunya tumbuhan berbunga dan berpembuluh (vascular plant) yang sudah sepenuhnya menyesuaikan diri hidup terbenam di dalam air laut. Tumbuhan lamun jelas memiliki akar, batang, daun, buah dan biji. Lamun termasuk dalam kelas monocotyledoneae, anak kelas Alismatidae sukunya Hydrocharitaceae dengan contoh jenis *Syrinsodium isoetifolium* tumbuhan ini mempunyai beberapa sifat yang memungkinkan hidup di lingkungan laut yaitu:



Gambar 13.11. Padang Lamun

- Mampu hidup di media air asin
- Mampu berfungsi normal dalam keadaan terbenam
- Mempunyai system perakaran jangkar yang berkembang baik
- Mampu melaksanakan penyerbukan dan daur generatif dalam keadaan terbenam



Gambar 13.12. Tumbuhan Lamun

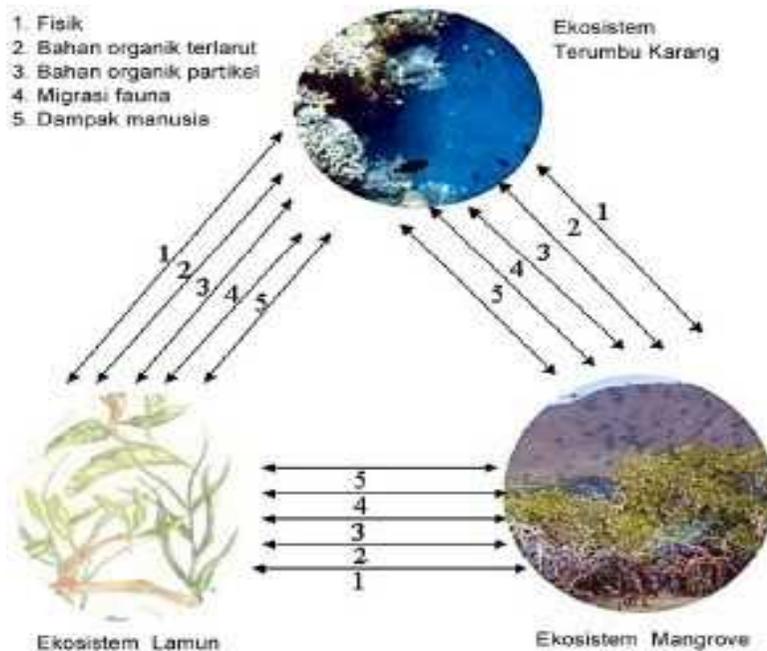
Lamun memiliki perbedaan yang nyata dengan tumbuhan yang hidup terbenam dalam laut lainnya seperti **makro alga** atau rumput laut (**sea weeds**). sea weed termasuk dalam difisi Thallophytes (tumbuh-

tumbuhan berthalus), warna menjadi ciri khas tumbuhan ini, sifat khas difisi ini adalah antara akar, batang dan daun belum bias dibedakan.

Lamun tumbuh subur terutama di daerah terbuka pasang surut dan perairan rantai yang dasarnya berupa Lumpur, pasir, krikil, dan patahan karang mati, dengan kedalaman 4 meter dalam perairan yang sangat jernih. Beberapa jenis lamun bahkan ditemukan tumbuh sampai 8-15 meter dan 40 meter.

Tempat yang banyak ditumbuhi lamun membentuk suatu ekosistem yang dinamakan padang lamun. Padang lamun adalah suatu hamparan ekosistem yang sebagian besar terdiri dari tumbuhan lamun dan dihuni oleh berbagai jenis biota laut seperti Bintang Laut, teripang, rumput laut (ganggang laut), dan berbagai jenis ikan.

Beberapa penelitian menyebutkan bahwa semakin lebat padang lamun, maka keanekaragaman dan kelimpahan spesies ikan akan meningkat, padang lamun dapat berbentuk vegetasi tunggal yang tersusun atas satu jenis lamun yang membentuk padang lebat (*monospesifik*) dan dapat juga membentuk vegetasi campuran.



Gambar 13.13. Ekosistem yang saling berkaitan, yaitu ekosistem lamun, ekosistem mangrove dan ekosistem terumbu karang.

Faktor lingkungan yang mempengaruhi distribusi dan pertumbuhan lamun adalah: kecerahan, temperature, salinitas, substrat dan kecepatan arus, yang akan dibahas sebagai berikut:

a. Kecerahan

Lamun membutuhkan intensitas cahaya yang tinggi untuk melaksanakan proses fotosintesis. Hal ini terbukti dengan hasil observasi yang menunjukkan bahwa distribusi lamun hanya terbatas pada perairan yang tidak terlalu dalam.

b. Temperatur

Kisaran suhu optimal bagi lamun adalah 28-30⁰ C. Kemampuan proses fotosintesis akan menurun dengan tajam apabila tempereatur perairan berada di luar kisaran optimal tersebut.

c. Salinitas

Spesies lamun memiliki kemampuan toleransi yang berbeda terhadap salinitas, namun sebagian besar memiliki kisaran yang lebar yaitu 10-40‰. Nilai salinitas optimum untuk lamun 35‰. Salah satu factor yang menyebabkan kerusakan ekosistem padang lamun adalah meningkatnya salinitas yang diakibatkan oleh berkurangnya suplai air tawar dari sungai.

d. Substrat

Padang lamun hidup pada berbagai macam tipe subtract, mulai dari Lumpur sampai sediment dasar yang terdiri dari endapan Lumpur halus sebesar 40%. Kedalaman substrat berperan dalam menjaga stabilitas sediment yang mencakup 2 hal, yaitu pelindung tanaman dari arus air laut, dan tempat pengolahan serta pemasok nutrient.

e. Kecepatan Arus Perairan

Produktivitas padang lamun juga dipengaruhi oleh kecepatan arus perairan. Pada saat kecepatan arus sekitar 0,5 m/detik, jenis *Thalassia testudium* mempunyai kemampuan maksimal untuk tumbuh.

Reproduksi lamun dapat dilakukan secara aseksual dan seksual. Secara aseksual dengan membentuk stolon, secara seksual dengan hydrophilus: plennya tersebar di badan air dan epihidrophyly: polennya

berada dipermukaan air. Padang lamun merupakan habitat bagi beberapa organisme laut. Hewan yang hidup pada padang lamun ada berbagai penghuni tetap ada pula yang bersifat sebagai pengunjung. Hewan yang datang sebagai pengunjung biasanya untuk memijah atau engasuh anaknya seperti ikan. Selain itu, ada pula hewan yang datang mencari makan seperti sapi laut (*dugong-dugong*) dan penyu (*turtle*) yang makan lamun *Syriungodium isoetifolium* dan *Thalassia hemprichii*.

Di daerah padang lamun, organisme melimpah, karena lamun digunakan sebagai perlindungan dan persembunyian dari predator dan kecepatan arus yang tinggi dan juga sebagai sumber bahan makanan baik daunnya maupun epifit atau detritus. Jenis-jenis polichaeta dan hewan-hewan nekton juga banyak didapatkan pada padang lamun. Lamun juga merupakan komunitas yang sangat produktif sehingga jenis-jenis ikan dan fauna invertebrata melimpah di perairan ini. Lamun juga memproduksi sejumlah besar bahan organik sebagai substrat untuk algae, epifit, mikroflora dan fauna.

Pada padang lamun ini hidup berbagai macam spesies hewan, yang berasosiasi dengan padang lamun. Di perairan Pabama dilaporkan 96 spesies hewan yang berasosiasi dengan beberapa jenis ikan. Di teluk Ambon di temukan 48 famili dan 108 jenis ikan. Di Teluk Ambon ditemuklan 48 famili dan 108 jenis ikan adalah sebagai penghuni lamun, sedangkan di Kepulauan Seribu sebelah utara Jakarta di temukan 78 jenis ikan yang berasosiasi dengan padang lamun. Selain ikan, sapi laut dan penyu serta banyak hewan invertebrata yang berasosiasi dengan padang lamun, seperti: *Pinna sp*, beberapa *Gastropoda*, *Lambis*, *Strombus*,

teripang, bintang laut, beberapa jenis cacing laut dan udang (*Peneus doratum*) yang ditemukan di Florida selatan.

Apabila air sedang surut rendah sekali atau surut purnama, sebagian padang lamun akan tersembul keluar dari air terutama bila komponen utamanya adalah *Enhalus acoroides*, sehingga burung-burung berdatangan mencari makann di padang lamun ini).

Menurut Azkab (1988), ekosistem lamun merupakan salah satu ekosistem di laut dangkal yang paling produktif. Di samping itu ekosistem lamun mempunyai peranan penting dalam menunjang kehidupan dan perkembangan jasad hidup di laut dangkal, menurut hasil penelitian diketahui bahwa peranan lamun di lingkungan perairan laut dangkal sebagai berikut:

1. Sebagai Produsen Primer

Lamun mempunyai tingkat produktifitas primer tertinggi bila dibandingkan dengan ekosistem lainnya yang ada di laut dangkal seperti ekosistem terumbu karang.

2. Sebagai Habitat Biota

Lamun memberikan tempat perlindungan dan tempat menempel berbagai hewan dan tumbuh-tumbuhan (alga). Disamping itu, padang lamun (*seagrass beds*) dapat juga sebagai daerah asuhan, padang penggembalaan dan makan dari berbagai jenis ikan herbivora dan ikan-ikan karang (*coral fishes*).

3. Sebagai Penangkap Sedimen

Daun lamun yang lebat akan memperlambat air yang disebabkan oleh arus dan ombak, sehingga perairan di sekitarnya menjadi tenang.

Disamping itu, rimpang dan akar lamun dapat menahan dan mengikat sedimen, sehingga dapat menguatkan dan menstabilkan dasar permukaan. Jadi padang lamun yang berfungsi sebagai penangkap sedimen dapat mencegah erosi.

4. Sebagai Pendaaur Zat Hara

Lamun memegang peranan penting dalam pendauran barbagai zat hara dan elemen-elemen yang langka di lingkungan laut. Khususnya zat-zat hara yang dibutuhkan oleh algae epifit.

Sedangkan menurut Philips & Menez (1988), ekosistem lamun merupakan salah satu ekosistem bahari yang produktif. ekosistem lamun perairan dangkal mempunyai fungsi antara lain:

- Menstabilkan dan menahan sedimen–sedimen yang dibawa melalui tekanan–tekanan dari arus dan gelombang.
- Daun-daun memperlambat dan mengurangi arus dan gelombang serta mengembangkan sedimentasi.
- Memberikan perlindungan terhadap hewan–hewan muda dan dewasa yang berkunjung ke padang lamun.
- Daun–daun sangat membantu organisme-organisme epifit.
- Mempunyai produktifitas dan pertumbuhan yang tinggi.
- Menfiksasi karbon yang sebagian besar masuk ke dalam sistem daur rantai makanan.

Lamun juga sebagai komoditi yang sudah banyak dimanfaatkan oleh masyarakat baik secara tradisional maupun secara modern. Lamun kadang-kadang membentuk suatu komunitas yang merupakan habitat bagi berbagai jenis hewan laut. Komunitas lamun ini juga dapat

memperlambat gerakan air. bahkan ada jenis lamun yang dapat dikonsumsi bagi penduduk sekitar pantai. Keberadaan ekosistem padang lamun masih belum banyak dikenal baik pada kalangan akademisi maupun masyarakat umum, jika dibandingkan dengan ekosistem lain seperti ekosistem terumbu karang dan ekosistem mangrove, meskipun diantara ekosistem tersebut di kawasan pesisir merupakan satu kesatuan sistem dalam menjalankan fungsi ekologisnya. Ekosistem padang lamun memiliki atribut ekologi yang penting yang berhubungan dengan sifat fisika, kimia dan proses biologi antar ekosistem di wilayah pesisir dan proses keterkaitan ke tiga ekosistem ini Kerusakan Padang Lamun

Kerusakan yang terjadi pada padang lamun dapat disebabkan oleh natural stress dan anthropogenic stress. Natural stress bias disebabkan gunung meletus, sunami, kompetisi, predasi. Sedangkan *anthrogenik stress* bisa disebabkan :

- Perubahan fungsi pantai untuk pelabuhan atau dermaga.
- *Eutrofikasi (Blooming* mikro alga dapat menutupi lamun dalam memperoleh sinar matahari).
- *Aquakultur* (pembabatan dari hutan mangrove untuntuk tambak memupuk tambak).
- *Water polution* (logam berat dan minyak).
- *Over fishing* (pengambilan ikan yang berlebihan dan cara penangkapannya yang merusak

C. PERMASALAHAN EKOLOGI LAUT

Penambangan pasir laut telah berkembang menjadi polemik nasional. Dampaknya seperti nelayan yang kehilangan mata pencarian hingga tenggelamnya sebuah pulau telah berkembang menjadi bahan pembicaraan di masyarakat. Secara obyektif pasir laut memang bisa disebut salah satu sumber daya kelautan yang berkembang menjadi komoditas ekonomi. Namun, penambangan pasir laut berdampak pada pengelolaan wilayah pesisir dan laut. Kegiatan penambangan pasir laut apabila tidak dilakukan di daerah yang tepat dan dengan cara yang tepat akan berdampak pada lingkungan, baik fisik, biologi, maupun sosial. Penambangan pasir laut yang sebagian besar dilakukan di daerah *nearshore* dapat mengganggu stabilitas pantai yang selama ini dipahami sebagai penyebab tenggelamnya sebuah pulau.

Pantai dikatakan stabil jika untuk waktu yang lama hampir tak mengalami perubahan bentuk. Kestabilan pantai ditentukan oleh berbagai faktor eksternal dan internal. Faktor eksternal meliputi arus, gelombang, angin, maupun pasang surut, sedangkan faktor internal menyangkut karakteristik, tipe sedimen, serta lapisan dasar di mana sedimen itu berada. Penggalan pasir pantai akan mengakibatkan dampak berupa perubahan batimetri, pola arus, pola gelombang, dan erosi pantai. Apabila dasar perairan digali untuk penambangan pasir, maka

permukaan dasar perairan akan semakin dalam. Lereng pantai menjadi terjal sehingga menimbulkan ketidakstabilan lereng pantai.

Aktivitas penambangan pasir laut mengakibatkan pola arus, baik arus yang diakibatkan oleh pasang surut maupun oleh gelombang, perubahan energi gelombang dan perubahan pola sebaran sedimen pantai. Perubahan pola-pola eksternal ini dapat berdampak pada pemacuan intensitas erosi. Mengingat pendalaman dasar perairan depan garis pantai akan menurunkan efek peredaman gelombang, energy gelombang yang menggempur pantai menjadi semakin besar. Selain menurunkan efek peredaman, pendalaman dasar perairan disekitar pantai juga menimbulkan pola arah gelombang yang lebih dikenal sebagai refleksi sehingga erosi akan meningkat.



BAB XIV

EKOLOGI KAMPUS

Abad ke-21, pembangunan yang bersifat ekspansif mulai bergeser ke arah pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable development*), yaitu pembangunan yang memperhatikan kebutuhan saat ini tanpa melupakan pentingnya pemenuhan kebutuhan bagi generasi mendatang. Pembangunan ini dicirikan oleh tiga pilar yang mendasarinya, yaitu aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan (ekologis). Terkait dengan pembangunan berkelanjutan, nilai-nilai keagamaan pun tetap sangat esensial untuk diperhatikan, oleh karena itu perlu menambahkan aspek ke-4 yang mendasari pembangunan berkelanjutan yaitu Islami.

Tingginya disparitas sosial di masyarakat, kerusakan lingkungan, dan pemanasan global, isu-isu “Hijau” menjadi semakin gencar dikumandangkan. Hal ini menjadi tantangan tersendiri bagi PTAI dan madrasah abad-21 ini. PTAI dan Madrasah harus menjadi pengembangan ilmu pengetahuan dan peradaban Islam, serta pembinaan akhlak karimah yang terarah ke pembangunan berkelanjutan-pendidikan yang “Hijau”. Arah gerak penciptaan lingkungan kampus yang asri, Islami, dan ilmiah akan menjadi keunggulan kompetitif untuk dapat bersaing di era globalisasi dengan menghasilkan lulusan dan karya yang mampu memberikan sumbangsih bagi *green development* di Indonesia, khususnya di wilayah masing-masing sesuai dengan potensi yang dimilikinya.

A. KONSEP KAMPUS ASRI, ISLAMI, DAN ILMIAH

Kampus dalam pengertian fisik adalah suatu *space* atau ruang yang luas yang digunakan sebagai tempat belajar. Oleh karena itu kampus diharapkan untuk menjadi *science centre* yang mampu memberi tempat yang asri sebagai tempat belajar, dan mampu memancarkan nilai-nilai keislaman secara nyata. Kehidupan kampus yang sehat, asri, Islami dan ilmiah dapat memberi pengalaman hidup yang mengubah manusia melalui suasana belajar, memberi pengetahuan tentang strategi belajar melalui evaluasi kognitif, afektif dan psikomotorik mahasiswanya.

Konsep asri, Islami, dan ilmiah tidak hanya terkait dengan pembangunan ramah lingkungan, berbasis agama dan sains, tetapi juga berhubungan dengan penerapan suatu sistem yang terintegrasi, holistik, dan efisien di antara ketiganya, serta aspek-aspek pendukungnya. Dalam konsep ini, infrastruktur, desain dan sistem dibuat semirip mungkin dengan ekosistem, di mana energi dimanfaatkan secara efisien dan materi dimanfaatkan dari satu entitas ke entitas yang lain dalam siklus. Dari ekosistem alami seperti inilah diharapkan muncul Perilaku taqwa sivitas akademika dan menciptakan suatu kondisi lingkungan ilmiah yang kondusif dalam pelaksanaan pendidikan.

Prinsip-prinsip penerapan konsep asri, Islami, dan ilmiah :

- 1. Efisiensi energi :** energi dimanfaatkan secara efisien antara unit-unit pemanfaat energi. Energi yang terlepas dalam bentuk kalor dimanfaatkan sebagai sumber energi panas bagi subsistem lain dalam sistem, atau diserap oleh sistem. Panas yang diserap oleh sistem dimanfaatkan untuk menggerakkan materi, seperti angin dan air.
- 2. Penggunaan energi terbarukan :** konsep asri, Islami, dan ilmiah memanfaatkan energi terbarukan yang tersedia di alam, dengan

seminimal mungkin penggunaan bahan bakar fosil. Sumber energi yang ada di dalam terutama disediakan oleh sinar matahari. Sumber energi terbarukan lainnya meliputi angin, air, panas bumi, dan biomassa.

3. **Zero-waste production-Efisiensi pemanfaatan sumber daya** : di dalam konsep ini, sumber daya dimanfaatkan secara efisien. Teknologi hijau adalah teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya sehingga mengurangi limbah yang dihasilkan.
4. **Zero-waste production-Siklus materi** : konsep zero-waste production tidak hanya berhubungan dengan dengan efisiensi pemanfaatan sumber daya, tetapi juga penerapan siklus materi di dalam sistem. Limbah yang dihasilkan oleh satu subsistem harus dapat dijadikan sebagai sumber daya bagi subsistem lainnya. Konsep seperti *recycle* dan *reuse* adalah penerapan dari siklus materi dan efisiensi pemanfaatan sumber daya dalam konsep asri.
5. **Keterkaitan sistem alam-manusia** : pembangunan berkelanjutan tidak dapat lepas dari pembangunan masyarakat. Konsep sistem ekologi-sosial memperhatikan masyarakat sebagai bagian yang tidak terlepas dari ekosistem. Alam memberikan sumber daya bagi manusia, tetapi manusia juga memberikan masukan bagi siklus materi di dalam ekosistem. Pembangunan berwawasan lingkungan yang tidak mengindahkan masyarakat memiliki tendensi untuk gagal dan berpotensi menimbulkan bencana. Masyarakat dapat merusak lingkungan melalui pemanfaatan eksploitatif, tetapi dapat juga berperan dalam memelihara lingkungan melalui sistem pengelolaan yang berkelanjutan. Konsep asri (hijau), Islami, dan ilmiah mengedepankan pemberdayaan masyarakat sekitar sebagai bagian dari pembangunan yang ramah lingkungan.

- 6. Fiqih lingkungan-Islam sebagai rahmatan lilalamin :** perilaku manusia terhadap lingkungan sangat terkait dengan pengetahuan dan sikap yang dipahaminya mengenai lingkungan. Pendidikan nilai-nilai keislaman harus sudah terimplementasikan secara nyata dalam menciptakan lingkungan yang asri dan sehat (Islami), bukan lagi pada tataran simbolik, wacana, dan semboyan-semboyan saja. Mahasiswa diajarkan mengenai *earth skill education*, konservasi, *green energy*, dan *recycling*. Menyempurnakan akhlak manusia terhadap alam/lingkungan harus merupakan bagian yang tak terpisahkan dalam pendidikan berbasis agama.
- 7. Aplikasi tridharma perguruan tinggi :** fasilitas-fasilitas yang tersedia di lingkungan kampus seperti kebun botani, laboratorium, hutan pendidikan, flora, fauna dan sebagainya (komponen abiotik dan biotik) tidak hanya digunakan sebagai fasilitas untuk belajar, tetapi juga sebagai sarana penelitian dan pengabdian masyarakat.

Kampus yang asri, Islami, dan ilmiah adalah konsep yang diangkat sebagai bentuk penerapan *green concept* di dalam proses pendidikan. Di dalam konsep ini, IAIN Syekh Nurjati sebagai institusi harus dapat mengarahkan proses pendidikan, penelitian, dan pengabdian masyarakatnya ke arah pembangunan yang berwawasan lingkungan dan berkelanjutan. Hal ini terutama dibangun oleh dua hal dasar, **Desain Asri, Islami, Ilmiah** dan **Kurikulum Asri, Islami, Ilmiah**.

Desain asri, Islami, dan ilmiah berhubungan dengan pembangunan infrastruktur dan fasilitas kampus yang memenuhi konsep tersebut. Kampus dengan desain asri, Islami, dan ilmiah akan menjamin efisiensi penggunaan sumber daya dan energi di dalam kampus,

sekaligus menciptakan suasana Islami dan suasana akademik yang kondusif dan nyaman bagi berlangsungnya proses pendidikan.

Kurikulum asri, Islami, ilmiah berhubungan dengan tujuan pendidikan dan penelitian yang terarah pada isu-isu pembangunan berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. Melalui konsep kurikulum ini, perkuliahan dan penelitian di IAIN Syekh Nurjati Cirebon diarahkan pada penciptaan lingkungan yang asri (hijau) berdasarkan nilai-nilai keislaman dan keilmuan, melalui ilmu pengetahuan dan teknologi hijau, sistem manajemen lingkungan dan eko-efisiensi.

Kampus asri, Islami, dan ilmiah adalah kampus yang mengintegrasikan ilmu pengetahuan lingkungan, agama, dan sains ke dalam kebijakan, manajemen dan kegiatan tridharma perguruan tinggi. Kampus asri, islami, dan ilmiah yang diharapkan adalah kampus yang sehat secara ekologis, Islami dan sains. Kampus yang mampu memanfaatkan secara optimal energi, sinar matahari, udara, air, dan biomassa di dalam ruang lingkungannya berdasarkan nilai-nilai keislaman dan sains.

B. PENCIPTAAN LINGKUNGAN YANG ASRI (HIJAU), ISLAMI, DAN ILMIAH

- Menerapkan kurikulum pendidikan dan penelitian yang berhubungan dengan pembangunan berkelanjutan yang diterapkan di kampusnya, seperti : desain arsitektur asri, konsep pertanian terpadu (*eco farming*), biopori, dan pemanfaatan bahan bakar alternatif (biogas, biomassa, dll).
- Diajarkan mengenai earth skill education, konservasi, green energy, recycling dan reuse kepada mahasiswa dan sivitas akademika.

- Membangun ruang terbuka hijau, jalur hijau, hutan pendidikan, dan taman kampus, serta komponen ekosistem lainnya.
- Memberikan nama-nama ilmiah, bahasa arab/ bahasa inggris pada setiap obyek keseharian yang ditemukan dan atau tulisan-tulisan ayat Qur'an dan hadits yang terkait dengan keasrian, kesehatan, kebersihan lingkungan, dan yang terkait dengan menuntut/mengamalkan ilmu.
- Pengembangan kampus dan ruangan dengan kapasitas dan rasio yang sesuai dengan jumlah daya tampung mahasiswa, desain dan konstruksi hijau
- Pendidikan karakter bangsa (taman kanak-kanak sampai PT)
- Pengelolaan lahan perbukitan berwawasan lingkungan dan berkelanjutan
- Fasilitas olah raga : jogging, walking/hiking, bicycle trac area, olah raga air, dll
- Camping ground dan out bond
- Pusat persinggahan (rest area/ green city)
- Hotel atau wisma
- Rumah sehat
- Taman kupu-kupu
- Kebun herbal Indonesia
- Tanaman hias khas Jawa Barat
- Perikanan danau (air tawar) dalam kampus
- Hutan insdustri

C. PENDEKATAN EKOLOGI UNTUK KAMPUS HIJAU, ASRI, ISLAMI DAN ILMIAH

Upaya mewujudkan suasana kampus yang sehat, salah satu faktor yang penting ialah menggunakan konsep ekologi. Konsep ekologi sentiasa berdasarkan kepada kesesuaian makhluk hidup dengan keadaan sekitarnya. Kampus merupakan suatu habitat yang dihuni bukan saja manusia tetapi terdapat bermacam jenis spesies hidup yang lain, termasuk flora, fauna dan juga mikroorganisma.



gambar 14.1 suasana pendekatan ekologi untuk kampus hijau

Walaupun kampus bukanlah merupakan suatu habitat alamiah yang sempurna seperti hutan hujan tropika, tetapi terdapat juga beberapa spesies tumbuhan yang boleh menyediakan *nichia* untuk hewan spesies burung. Contohnya ada beberapa kawasan di kampus seperti lembah durian telah menarik beberapa jenis burung yang jarang ditemui. Zona hijau yang mana kesemua kawasan yang dipenuhi tumbuhan perlu dilindungi.

Gambar 14.2 Zona Hijau





Kawasan kampus memerlukan zona hijau yang lebih banyak, di mana bukan saja zona ini boleh membuat indah kawasan, bahkan dapat memberikan suatu keadaan yang nyaman. Jika kawasan kampus tidak mempunyai zona hijau, kampus tersebut kelihatan seperti kawasan gersang dan tandus. Justru itu kawasan hijau dengan kanopi tumbuhan diperlukan, untuk menjadikan kawasan tersebut teduh dan nyaman.

Elemen air juga penting untuk memberikan kesegaran sebuah kampus. Sungai dan kolam yang bersih merupakan suatu faktor penting di dalam konsep ekosistem. Negara kita yang mempunyai curah hujan yang tinggi, kaya dengan sungai tetapi banyak sungai kita telah tercemar. Justru itu keadaan sungai dan kolam yang bersih akan mencirikan sifat-sifat tertentu sebuah universitas.





Pendek kata, pendekatan ekologi terutama sekali berdasarkan biodiversiti, kekayaan spesies tumbuhan dan kualitas alam sekitar seperti sistem hidrologi yang sempurna, sangat penting untuk mewujudkan suatu keadaan kampus yang harmoni dan tenang, sesuai dengan harapannya sebagai tempat yang asri, sehat dan nyaman mencari dan memperdalam ilmu.

D. REVITALISASI NILAI-NILAI AGAMA DALAM MEWUJUDKAN EKO-RELIGI

Sebagai manusia-ekologi, banyak hal telah dicontohkan oleh baginda Rasulullah Saw, misalnya saja **“Singkirkanlah kotoran dari jalanan kaum muslimin”** (HR. Muslim). Hal ini mencerminkan bagaimana ajaran Islam mengajarkan tentang menjaga kebersihan lingkungan yang merupakan pilihan prioritas masyarakat. Perhatikan hadits yang lain **“Iman itu ada tujuh puluh sekian pintu, pintu terendah adalah menyingkirkan sesuatu yang berbahaya dari jalan umum dan yang tertinggi adalah ucapan laa ilaaha illallah”** (HR. Turmudzi). Sungguh mulia tuntunan hadits ini, bagaimana perilaku kepedulian akan kesehatan lingkungan terhimpun dengan keimanan.

Kebersihan adalah sebagian dari iman. Rasulullah Saw bersabda **“Sesungguhnya Allah itu baik dan menyukai kebaikan, bersih dan menyukai kebersihan, mulia dan menyukai kemuliaan, murah hati dan menyukai kemurahan hati”**. Oleh karena itu, bersihkan halaman kalian dan jangan menyerupai orang Yahudi (orang Yahudi dikenal kurang memperhatikan kebersihan), sedangkan Islam mengajarkan kebersihan halaman karena halaman yang kotor, tidak sehat akan memberikan kesempatan serangga bersarang yang akan menjadi perantara penyebaran penyakit.

Mari kita perhatikan kembali ajaran Rasulullah Saw **“Barang siapa menebang pohon *sidrah* (sejenis pohon bidara) yang biasa dipakai bernaung oleh orang maupun binatang maka Allah akan benamkan kepalanya ke neraka”** (HR Abu Dawud dan Baihaqy), atau perhatikan perkataan Rasulullah lainnya : **"Andaikata kalian tahu bahwa besok akan kiamat dan di tangan kalian terdapat biji pohon, maka tanamlah"**, bahkan pada Perang Mut`ah (630 M), Rasul terakhir ini memerintahkan, **"Berangkatlah dengan nama Allah, atas agama Rasulullah. Janganlah kalian membunuh orang tua, wanita, anak kecil, orang yang menyusui, merobohkan bangunan, membakar pohon, serta memotong pohon kurma, dan kalian berlakulah ihsan/baik,"** (H.R. Abu Dawud). Perhatian begitu besar dari Islam untuk mewujudkan “perilaku hijau” membudayakan, menanam dan memelihara pohon/ tanaman, suatu ajaran yang sangat modern. Oleh karena itu, tidak sepatasnyalah kita merusak dan menebang pohon/ tanaman tanpa perencanaan dan penataan lingkungan yang baik, apalagi hanya karena faktor ekonomi, atau hal lain yang seharusnya dapat dipertimbangkan atau dicari solusinya. Bahkan, mestinya kita menyadari

“perilaku hijau” ramah lingkungan merupakan implementasi dari apa yang tersurat dalam Al-Qur’an dan Sunah.

Memang pantas sekiranya dalam kajian fiqih lingkungan, suatu saat perilaku atau tindakan “merusak/menebang pohon atau tanaman dapat dikategorikan haram hukumnya, dan sebaliknya menanam pohon atau tanaman adalah wajib. Bagaimana tidak ? coba kita sedikit berpikir...sebelum kita menegakkan ibadah sholat, kita diutamakan harus berwudlu menggunakan air suci (kecuali tayamum), sedangkan sumber air ini ada karena peran dan keberadaan komunitas tumbuhan sebagai “bank air tanah”. Apa yang akan kita rasakan jika komunitas tumbuhan ini dirusak atau ditebang sembarangan tanpa adanya reboisasi atau penghijauan kembali? Suatu nanti umat manusia akan sulit berwudlu menggunakan air suci alamiah.

Selain itu pula, manusia akan cepat lelah (lemas) karena oksigen yang dibutuhkan untuk bernafas kita semakin berkurang dihasilkan oleh komunitas tumbuhan, serta berkurangnya berbagai komoditi pangan sandang dan papan untuk keperluan hdiup manusia. Selanjutnya, kita juga tahu peran air dalam kehidupan, sangat vital manfaatnya untuk aktivitas lain, seperti mandi, minum, pelarut, memasak, pembersih, tenaga listrik, dan sebagainya. Apakah memang begitukah perilaku atau tindakan kita yang akan diwariskan ke generasi umat manusia berikutnya ? Sesuaikah dengan ajaran Islam ? Silakan dihayati dan dimaknai..! bagaimana Al-Qur’an dan Sunah memberikan tuntunan yang sangat positif untuk melestarikan lingkungan.

Ayat-ayat “hijau” dalam Al-Qur’an tegas dan jelas, mengajak kita bertindak nyata (bukan wacana yang diperdebatkan atau ketidakpedulian) untuk dapat melestarikan lingkungan, merawat Bumi

dengan sikap dan perilaku yang Islami, arif, bijaksana, dan tidak berlebihan mengeksploitasi sumber daya alam. Ayat-ayat ramah lingkungan yang penulis sajikan di bawah ini semoga dapat menjadi bahan renungan bagi kita semua, sebagai seorang muslim dan unsur civitas academica berbasis Islam. Ayat-ayat “hijau” ini antara lain :

- QS. Ar-Ruum [30] : 41 : **“Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).**
- QS. Asy-Syu’araa [42] : 151-152 : **“Dan janganlah kamu mentaati perintah orang-orang yang melewati batas, yang membuat kerusakan di muka Bumi dan tidak mengadakan perbaikan “.**
- QS. Al Baqarah [2] : 205 : **“Dan apabila ia berpaling (dari kamu), ia berjalan di muka Bumi untuk mengadakan kerusakan padanya, dan merusak tanaman-tanaman dan binatang ternak, dan Allah tidak menyukai kebinasaan “.**
- QS. Asy-Syu’araa [42] : 183 : **“Dan janganlah kamu merugikan manusia pada hak-haknya dan janganlah kamu merajalela di muka Bumi dengan membuat kerusakan”.**
- QS. Al A’raaf [7] : 56 : **“Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka Bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya ...”**
- QS. Huud [11] : 85 : **“Dan Syu’aib berkata : Hai kaumku, cukupkanlah takaran dan timbanglah dengan adil, dan janganlah kamu merugikan manusia terhadap hak-hak mereka, dan janganlah kamu membuat kejahatan di muka Bumi dengan membuat kerusakan”.**

Sebagaimana halnya kearifan lokal itu ditafsirkan dari gagasan ekoreligi yang sesungguhnya. Hanya saja, ekoreligi selalu saja dilupakan oleh manusia, memandang eksistensi alam sekitar tidak ada hubungan dengan religi yang dianutnya. Gagasan kearifan pada lingkungan selalu berpusat pada manusia. Akibatnya, ekoreligi, sama juga dengan asal muasalnya, selalu saja terjebak dalam ritual-ritual formal dan miskin internalisasi nilai-nilai luhur religi. Cenderung tidak ada hubungan langsung antara umat yang bertaqwa dengan kepedulian pada lingkungan. Terlebih lagi tumbuhnya paradigma yang salah, dan bahayanya tetap saja tumbuh pesat dalam kehidupan masyarakat. Sebagaimana yang diungkapkan oleh John B. Cobb, Jnr dan David Ray Griffin yang dengan tegas menyatakan bahwa krisis dan kerusakan lingkungan hidup yang kita alami sekarang ini erat terkait dengan mentalitas dan cara pandang kita yang keliru mengenai lingkungan hidup itu sendiri.

Paradigma yang selalu memandang manusia sebagai pusat alam semesta (anthroposentris) yang menempatkan dirinya sebagai aktor paling menentukan dalam tatanan ekosistem. Arogansi manusia yang menganggap alam sekitar dan makhluk hidup lainnya harus tunduk pada manusia. Celakanya, alam dilihat hanya sebagai obyek, alat, dan sarana bagi pemenuhan kebutuhan dan kepentingan manusia. Alam hanya bernilai sejauh menunjang kepentingan manusia. Apapun bentuk sikap eksploitatif terhadap alam, itu merupakan bentuk penodaan dan perusakan terhadap ciptaan Allah SWT.

Ibadah kita ini harus dapat menyatukan semangat umat Islam dalam melakukan kontrol dan pengawasan terhadap pemanfaatan lingkungan atau sumber daya alam, yang telah menyumbang banyak

pada kehidupan manusia. Melakukan pembinaan untuk membangun kesadaran ekologis umat. Mensosialisasikan ajakan pada misi profetik-nya menjaga lingkungan. Menyuarakan di berbagai pertemuan, termasuk di berbagai majelis dan tempat ibadah lainnya. Peran tokoh agama menerangkan hal ini kepada setiap ummat. Bahwa setiap pribadi dalam syariat Islam adalah menjaga dan menghindarkan diri dari bahaya, sebagaimana sabda Nabi saw: **“Jangan sampai eksploitasi pada lingkungan akan mendatangkan bahaya”**.

Betapa sering kah kita melakukan ibadah seakan-akan untuk Allah SWT. Sholat, Shaum... tapi hati kita tidak kepada Allah SWT, hati kita tamak kepada dunia ini. Kita lebih menikmati pujian manusia daripada pujian Allah Penguasa Alam semesta. Kita lebih nikmat dihargai manusia yang pasti binasa, daripada diangkat derajatnya disisi Allah menjadi orang yang disayang Allah. Kita lebih rindu diulu-ulukan manusia, daripada oleh Allah disebut-sebut dikalangan mulia bersama para malaikatnya. Hidup kita tergadai hanya untuk mencari dari mahluknya. Padahal siapa manusia ? Manusia hanyalah makhluk ciptaan Allah, yang tidak pernah punya apa-apa, tidak pernah bisa menghidupkan dirinya sendiri, tidak bisa memberi manfaat tanpa ijin Allah, tidak juga bisa memberikan mudharat tanpa ijin Allah. Manusia tidak kuasa menolong dirinya sendiri, menolak bala yang menimpa dirinya. Bagaimana bisa mengabdikan hidup kita, hanya untuk manusia.

Untuk itu, penting kiranya terus melestarikan nilai-nilai kesabaran, menekan semaksimal mungkin kerakusan manusia, solidaritas sosial dan kecintaan pada lingkungan yang diwariskan oleh puasa. Terus menjaga, memelihara dan melindungi lingkungan sekitar tentu bukan hanya untuk kepentingan umat Islam, tetapi untuk

kepentingan manusia itu secara umum. Semoga saja puasa yang dilaksanakan terus melestariakan suatu nilai universal yang bisa membawa tujuan mendasar pada keselamatan lingkungan dan umat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2008. *Global Change* [online]. Tersedia :
<http://www.globalchange.umich.edu/globalchange1/current/lectures/kling/ecosystem/ecosystem.html>. [4 Oktober 2008]
- Anonim. 2008. *Ekologi Daur Biogeokimia*. [online]. Tersedia :
http://elcom.umsida.ac.id/elschool/muallimin_muhammadiyah/file.php/1/materi/Biologi/DAUR%20BIOGEOKIMIA.swf. [4 Oktober 2008].
- Anonim. 2008. Daur Biogeokimia. [online]. Tersedia :
<http://gurungeblog.wordpress.com/2008/11/17/daur-biogeokimia>. [7 Oktober 2008].
- Bengen, D. 2001. *Ekosistem dan sumberdaya Alam Pesisir dan Laut*. Bogor : Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan (PKSPL)-IPB.
- Boughey, AS. 1973. *Ecology of Population*. New York : Macmillan Publ.
- Campbell, N.A., et al. 2004. *Biologi*. Jilid III. Jakarta : Erlangga.
- Clements, FE., Shelford, VE. 1939. *Bio Ecology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Deshmukh, I. 1986. *Ecology and Tropical Biology*. Palo Alto : Blackwell Scientific Publ.
- Heddy S dan Kurniati M. 1996. *Prinsip-prinsip Dasar Ekologi. Suatu bahasan tentang Kaidah Ekologi dan Penerepannya*. Jakarta : Raja Grafindo.
- Hutchinson, K. 1953. A Test for Comparing Diversities Based on The Shannon Formula. *J. Theor. Bid.*29 (251-254).
- Indrawan, M., Primack, RB dan Supriatna, J. 2007. *Biologi Konservasi*. Jakarta : Yayasan Obor Indonesia.

- Irwan, Z.D. 2003. *Prinsip-prinsip Ekologi dan Organisasi, Ekosistem, Komunitas, dan Lingkungan*. Jakarta : Bumi Aksara.
- Nybakken, JW. 1992. *Biologi Laut suatu Pendekatan Ekologis*. [Terjemahan]. Jakarta : PT Gramedia.
- Odum, EP. 1963. *Ecology*. New York : HAct, Rinehart and Wisnton Inc.
- Odum, EP. 1971. *Fundamentals of Ecology*. Phladelphia : WB Saunders Company.
- Odum, E.P. 1983. *Basic Ecology*. Philadelphia : Saunders College Publishing.
- Odum, E.P. 1993. *Dasar-dasar Ekologi*. [Terjemahan] Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Shelford, EI. 1951. The Abudance the Collared Liming in the Churchill Area. *Ecology* 24 (474-574)
- Whittaker, RH. 1967. Dominance and Diversity in Land Plant Communities. *Science* 147 (250-260).
- Wirakusumah, S. 2003. *Dasar-dasar Ekologi bagi Populasi dan Komunitas*. Jakarta : UI Press.

SEKILAS PENULIS

Djohar Maknun, S.Si., M.Si.

Lahir di Desa Karangsambung Kadipaten-Majalengka pada tanggal 4 Oktober 1965. Penulis yang beristrikan Sri Wahyuningsih, A.Md. dan dikaruniai 3 orang anak, yaitu Dimitri D. Ramadhan, Dimas Izzaturochman, dan Dito Adam Airlangga. Hidup dibesarkan di lingkungan PUI, dengan ayahanda H. Ranoe Amin (alm) dan ibunda Hj. Hudzaeffah, sebagai pengelola Madrasah Diniyah dan Madrasah Ibtidaiyah yang diwariskan oleh kakeknya H. Mansyur dan H. Makmun. Pendidikan penulis, Sarjana (S-1) dari Jurusan Biologi Fakultas MIPA diselesaikannya di ITB tahun 1991, dan Master (S-2) nya di bidang Ilmu Kelautan (Biologi Laut), selesai tahun 2005 dari IPB. Sejak kuliah di ITB tahun 1987-1988, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Jurusan Biologi, dan aktivis kegiatan Masjid Salman ITB. Di IPB tahun 2003-2004 sebagai pengurus aktif di Himpunan Mahasiswa Pascasarjana Ilmu Kelautan. Organisasi kemasyarakatan yang pernah aktif di dalamnya adalah Al Irsyad Al Islamiyyah Kota Cirebon, ICMI Kabupaten Cirebon, Paguyuban Pasundan, dan Ikatan Alumni ITB. Beliau aktif bekerja dalam advokasi, penelitian dan proyek yang terkait dengan kelestarian lingkungan hidup yang bekerjasama dengan berbagai LSM, Pemda, dan Kementerian Lingkungan Hidup Jakarta. Berbagai karya penelitian telah dihasilkan dan dimuat dalam jurnal ilmiah. Buku-buku yang terkait dengan Ekologi, Lingkungan, Pendidikan Lingkungan, dan Keterampilan Laboratorium sedang dipersiapkan untuk diterbitkan. Beliau juga aktif dalam kegiatan ilmiah seminar, workshop, dan pelatihan. Tahun 2006 sampai dengan 28 Februari 2010 dipercaya sebagai Ketua Prodi Tadris IPA Biologi, dan sejak

1 Maret 2010 sekarang menjadi Pgs. Ketua Jurusan Tadris IPA Biologi IAIN Syekh Nurjati Cirebon. Tahun 2010 sampai dengan 2015 menjadi Wakil Dekan I Bidang Akademik Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, dan sekarang menjabat sebagai Kepala Pusat Penelitian dan Penerbitan LPPM IAIN Syekh Nurjati Cirebon. ***Pesan yang ingin disampaikan, bahwa Islam bukan saja akomodatif terhadap ayat-ayat Kauliyya (wahyu) tetapi juga akomodatif terhadap ayat-ayat Kauniyya (seluruh fenomena kealaman). Keduanya sinergi....untuk lebih dekat dan mengenal Yang Maha Besar Pencipta Diri Kita dan Alam Semesta ini.....***