

Sejarah, Ruang Lingkup Ekologi, dan Ekosistem



Pendahuluan

Modul 1 ini terdiri dari 4 kegiatan belajar yang akan menjelaskan tentang sejarah dan ruang lingkup ekologi, konsep ekosistem, aliran energi dan daur materi, rantai makanan dan produktivitas.

Dalam Kegiatan Belajar 1 akan dibahas tentang sejarah dan ruang lingkup ekologi yang mencakup asal-usul istilah ekologi dan sejarah timbulnya ekologi, ekologi sebagai bagian dari ilmu biologi. Kegiatan Belajar 1 juga akan membahas tentang kedudukan ekologi dalam ilmu pengetahuan yaitu kedudukan dan perkembangan ekologi serta hubungannya dengan disiplin ilmu lainnya.

Kegiatan Belajar 2 membahas tentang konsep ekosistem yang terdiri dari struktur ekosistem, komponen biotik dan abiotik, peranan masing-masing komponen ekosistem, dan proses-proses yang terjadi dalam ekosistem. Beberapa contoh ekosistem, seperti ekosistem kolam dan padang rumput juga akan diuraikan dalam kegiatan belajar ini. Di samping itu kondisi ekosistem yang *homeostatis*, kemampuan pengendalian dan pengaturan diri sendiri oleh komponen sistem dalam ekosistem.

Untuk mengenal dan memahami konsep ekosistem, seperti bagaimana terjadinya peristiwa aliran energi dan daur materi dalam ekosistem, struktur rantai makanan, struktur tropik, dan efisiensi ekologi, Anda dapat mempelajari Kegiatan Belajar 3 dan 4.

Dalam Kegiatan Belajar 4 Anda juga akan mempelajari tentang konsep produktivitas lingkungan yang meliputi produktivitas primer, sekunder, dan beberapa metode pengukuran produktivitas primer.

Setelah mempelajari modul ini secara umum Anda diharapkan dapat menerangkan:

1. menjelaskan ruang lingkup ekologi;
2. menjelaskan kedudukan dan peranan ekologi;
3. menjelaskan struktur dan peranan komponen ekosistem;
4. menjelaskan contoh-contoh ekosistem;
5. membandingkan antara ekosistem perairan dengan ekosistem daratan;
6. menjelaskan keseimbangan dalam ekosistem;
7. menjelaskan aliran energi dan daur materi, rantai makanan, transformasi energi, dan struktur tropik dalam ekosistem;
8. menjelaskan konsep produktivitas;
9. membandingkan produktivitas primer dengan produktivitas sekunder;
10. menjelaskan berbagai cara mengukur produktivitas;
11. menjelaskan efisiensi ekologi.

1

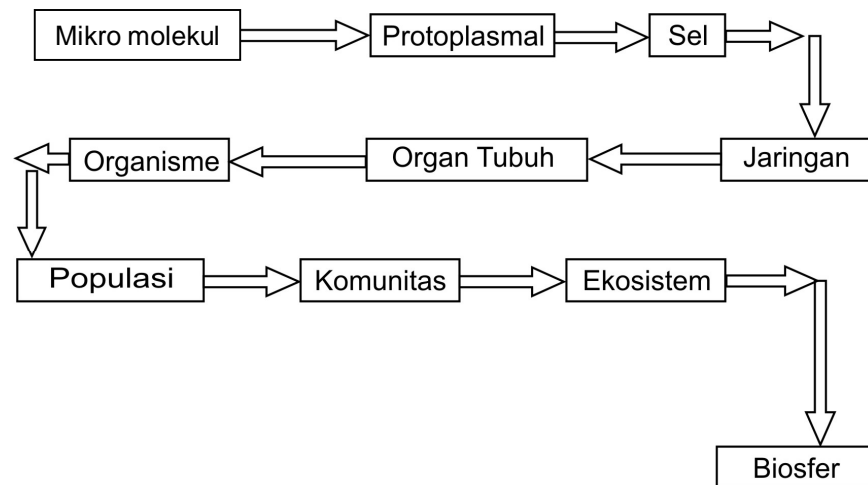
Sejarah dan Ruang Lingkup Ekologi

Hasil studi beberapa pakar terhadap ekologi menyebutkan bahwa **Hippocrates**, **Aristoteles**, dan para filsuf Yunani telah menulis beberapa materi yang sesungguhnya termasuk dalam bidang ekologi, namun demikian istilah ekologi belum dikenal pada saat itu. Kemudian, **Anthony Van Leeuwenhoek**, pakar biologi, selain dikenal sebagai pakar bidang studi mengenai rantai makanan dan regulasi populasi, juga dikenal sebagai pionir pengguna alat mikroskop. Akhirnya **Ernst Haeckel**, pakar biologi Jerman memperkenalkan istilah ekologi untuk pertama kalinya pada tahun 1869.

Istilah ekologi berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari dua kata, yaitu *Oikos* dan *Logos*. *Oikos* artinya rumah atau tempat tinggal, sedangkan *Logos* artinya ilmu atau pengetahuan. Semula ekologi diartikan sebagai ilmu yang mempelajari organisme di tempat tinggalnya. Namun bersamaan dengan proses perkembangan ilmu pengetahuan, sampai saat ini ekologi didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara organisme dengan organisme lainnya atau mempelajari hubungan timbal balik antarkelompok organisme dengan lingkungannya. Berdasarkan penelusuran terhadap beberapa tulisan karya ilmiah dari para ahli, dapat pula disimpulkan bahwa ekologi lebih dikenal sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang struktur dan fungsi dari komponen-komponen ekosistem alami.

A. Ruang Lingkup Ekologi

Ilmu ekologi merupakan bagian dari ilmu hayati atau ilmu biologi. Ruang lingkup ekologi dapat dijelaskan dengan melihat spektrum ilmu biologi yang menggambarkan aras-aras atau tingkatan organisasi kehidupan biota seperti bagan berikut.



Sumber: Subagja, dkk. 2001

Gambar 1.1. Aras-aras Organisme dalam Ekosistem Bumi

Ekosistem terbentuk berawal dari terbentuknya makromolekul, kemudian menjadi protoplasma, sel, jaringan, organ tubuh, sampai kemudian menjadi organisme atau makhluk hidup. Kumpulan dari organisme yang sama, kemudian menjadi suatu populasi, dan selanjutnya kumpulan berbagai populasi akan membentuk komunitas, misalnya komunitas manusia, komunitas hewan dan tumbuh-tumbuhan. Gabungan kerja sama dan interaksi antara komunitas satu dengan komunitas lainnya akan membentuk suatu ekosistem. Ilmu ekologi pada dasarnya mempunyai cakupan atau ruang lingkup studi pada **aras** atau tingkatan organisme-organisme tertentu, yaitu mulai dari populasi, komunitas hingga biosfer.

Pada mulanya ekologi berkembang menurut dua jalur ilmu hayati, yaitu ekologi tumbuhan dan ekologi hewan. Pakar-pakar ekologi tumbuhan menaruh perhatian terhadap hubungan antartumbuhan, sedangkan pakar-pakar ekologi hewan mempelajari dinamika populasi dan perilaku hewan.

Studi ekologi tumbuhan dan ekologi hewan dikelompokkan menjadi dua, yaitu **Autekologi** dan **Sinekologi**. Autekologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang hubungan timbal balik suatu jenis organisme dengan lingkungannya yang pada umumnya bersifat eksperimental dan induktif. Sedangkan sinekologi merupakan ilmu pengetahuan yang mempelajari kelompok-kelompok organisme sebagai suatu kesatuan yang lebih bersifat deskriptif, deduktif dan filosofis. Contoh studi autekologi dapat kita lihat pada telaah ekologi tikus atau hewan-hewan yang hanya terdapat pada lingkungan tertentu saja, sedangkan contoh sinekologi adalah telaah ekologi hutan tropika humida yang ternyata isinya tidak hanya didiami oleh satu jenis makhluk hidup.

Sinekologi dapat dibedakan lagi, antara lain menjadi ekologi perairan tawar, ekologi daratan, (*terestrial*), dan ekologi lautan. Ekologi daratan membahas aspek-aspek mikroklimat, kimia tanah, unsur hara, daur hidrologi, dan produktivitas. Ekologi daratan relatif "lebih sulit" dipelajari dibandingkan dengan ekologi perairan karena ekosistem daratan memiliki faktor kendali yang sangat banyak, seperti faktor biologis masing-masing organisme maupun faktor fisik lingkungan. Sedangkan pada ekosistem perairan kondisi lingkungan kehidupan organisme lebih stabil dan hanya dipengaruhi oleh faktor-faktor fisik dan kimiawi.

B. Kedudukan dan Perkembangan Ekologi

Sebagai bagian dari ilmu biologi maka ekologi merupakan bagian ilmu dasar yang cakupannya lebih besar menyangkut interaksi antarorganisme hidup dan organisme mati. Ekologi sejajar dengan bagian-bagian dasar yang lain yang membahas

biologi molekuler, biologi perkembangan, genetika, fisiologi, morfologi, dan lain-lain. Ilmu biologi dapat pula dikaji pada tataran taksonomis (menurut kelompok organisme yang dipelajari), yaitu botani dan *zoology*. Selanjutnya *zoology* (ilmu tentang hewan) dapat dibagi menjadi *ornithology* (ilmu tentang burung), *entomology* (ilmu tentang serangga), *mammalogy* (ilmu tentang hewan menyusui). Sedangkan botani dapat dibagi menjadi *orchidology* (ilmu tentang anggrek), *dendrology* (ilmu tentang pohon), dan sebagainya.

Ekologi mengalami perkembangan sejalan dengan perkembangan ilmu dan teknologi. Perkembangan ekologi mempengaruhi ilmu yang lain, demikian juga perkembangan ilmu yang lain yang juga dapat mempengaruhi ilmu ekologi. Mula-mula para pakar ekologi mempelajari saling keterkaitan antara organisme dengan lingkungannya. Studi ekologi berawal dari mempelajari geografi tumbuhan, kemudian berkembang pada aspek lain, yaitu komunitas tumbuhan, kemudian menjadi ekologi komunitas. Pada waktu yang hampir bersamaan juga berkembang studi-studi lain mengenai dinamika populasi atau ekologi populasi. Studi ini juga berkembang menjadi ekologi perilaku hingga beberapa tahun, kemudian dinamika populasi dan ekologi komunitas menjadi perhatian besar bagi pakar-pakar ekologi. Selanjutnya dengan adanya perhatian yang besar terhadap faktor-faktor fisik lingkungan maka muncul kemudian ilmu-ilmu mengenai ekoklimatologi (ilmu tentang iklim lingkungan), fisioekologi (ilmu tentang lingkungan fisik), dan ilmu ekoenergetika (ilmu tentang energi lingkungan).

Ekologi modern, kemudian memusatkan perhatiannya pada konsep ekosistem yang lebih kompleks, yaitu menyangkut beberapa asas-asas mendasar yang akan diuraikan pada kegiatan belajar berikutnya. Penggunaan konsep ekosistem ini menuju kepada pendekatan baru, yaitu pendekatan sistem. Pendekatan ini meliputi penggunaan model-model matematika. Model-model ini, antara lain digunakan untuk menjelaskan secara lebih sederhana tentang suatu ekosistem atau dapat pula untuk

meramal dan menduga perubahan-perubahan yang akan terjadi pada masa yang akan datang.



Latihan 1

Untuk lebih memantapkan pemahaman Anda terhadap Kegiatan Belajar 1, kerjakanlah latihan berikut ini!

- 1) Jelaskan pengertian Anda tentang ekologi dan asal kata "ekologi"?
- 2) Siapakah yang pertama kali memperkenalkan istilah ekologi dan kapan dikemukakan?
- 3) Jelaskan ruang lingkup ekologi!
- 4) Jelaskan yang dimaksud dengan autekologi, berikan contoh!
- 5) Apa yang dimaksud dengan sinekologi? Berikan contoh!
- 6) Apa manfaat model matematika dalam ekologi?

Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk menjawab latihan tersebut, Anda dapat mempelajari Kegiatan Belajar 1 tentang:

- a. sejarah singkat ekologi;
- b. ruang lingkup ekologi;
- c. kedudukan ekologi;
- d. perkembangan ekologi.



Rangkuman

Istilah ekologi berasal dari kata dalam bahasa Yunani, yaitu *Oikos* dan *Logos*. Istilah ini mula-mula diperkenalkan oleh Ernst Haeckel pada tahun 1869, tetapi jauh sebelumnya studi dalam bidang-bidang yang sekarang termasuk dalam ruang lingkup ekologi telah dilakukan oleh banyak pakar.

Ekologi merupakan cabang dari ilmu biologi dan merupakan bagian dasar dari ilmu biologi. Ruang lingkup ekologi meliputi populasi, komunitas, ekosistem dan biosfer. Studi ekologi kita kelompokkan menjadi 2, yaitu autekologi dan sinekologi.

Ekologi berkembang bersamaan dengan perkembangan ilmu dan teknologi yang tingkat perkembangannya tidak lepas dari perkembangan ilmu yang lain, misalnya perkembangan ilmu komputer yang sangat membantu perkembangan ilmu ekologi dalam menelusuri segala aspeknya secara lebih mendalam. Penggunaan model-model matematika dalam ekologi menunjukkan bahwa ekologi tidak lepas dari perkembangan matematika dan ilmu komputer.



Tes Formatif 1

Pilih satu jawaban yang paling tepat dari beberapa alternatif jawaban yang disediakan!

- 1) Studi di bidang ekologi sebenarnya
 - A. baru muncul pada tahun 1969
 - B. mula-mula dilakukan oleh Leeuwenhoek
 - C. sudah ada sejak pada masa Hippocrates
 - D. mula-mula dilakukan oleh Hippocrates

- 2) Berdasarkan spektrum biologi, ruang lingkup ekologi meliputi
 - A. organisme hingga ekosistem
 - B. sistem organ hingga ekosistem
 - C. populasi hingga ekosistem
 - D. populasi hingga biosfer

- 3) Pada mulanya pakar-pakar ekologi tumbuhan lebih menaruh perhatian kepada
 - A. hubungan tumbuhan dengan tumbuhan lainnya
 - B. dinamika populasi
 - C. pengaruh faktor fisik terhadap tumbuhan
 - D. pengaruh faktor kimiawi terhadap tumbuhan
- 4) Studi autekologi bersifat
 - A. deduktif dan eksperimental
 - B. induktif dan eksperimental
 - C. deduktif, filosofis, dan deskriptif
 - D. induktif dan filosofis
- 5) Studi sinekologi bersifat
 - A. deduktif dan eksperimental
 - B. induktif dan eksperimental
 - C. deduktif, filosofis, dan deskriptif
 - D. induktif dan filosofis
- 6) Contoh Studi autekologi adalah ekologi
 - A. tikus
 - B. sawah
 - C. hutan tropika humida
 - D. pantai
- 7) Sekarang pendekatan yang digunakan dalam ekologi adalah pendekatan
 - A. reduksionis
 - B. historis
 - C. habitat
 - D. sistem

- 8) Model-model matematika bermanfaat dalam ekologi, antara lain
- A. dapat untuk meramal perubahan yang akan datang
 - B. menggunakan alat canggih (misalnya komputer)
 - C. harus menyelesaikan kemajuan ilmu dan teknologi
 - D. hanya dapat dijelaskan dengan model tersebut.

Setelah mengerjakan Tes Formatif 1 di atas, cocokkan jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar, kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

Rumus:

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban Anda yang benar}}{8} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai:

90% - 100% = baik sekali

80% - 89% = baik

70% - 79% = cukup

< 70% = kurang

Bila tingkat penguasaan Anda mencapai 80% ke atas. **Bagus!** Anda cukup memahami materi Kegiatan Belajar 1. Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. Tetapi bila tingkat penguasaan masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

2

Ekosistem

Ekosistem adalah tatanan unsur lingkungan hidup yang merupakan satu kesatuan utuh menyeluruh dan saling mempengaruhi dalam membentuk keseimbangan, stabilitas, dan produktivitas lingkungan hidup. Di alam lingkungan kehidupan kita, terdapat berbagai jenis dan bentuk organisme atau dalam ilmu ekologi disebut sebagai komponen-komponen ekosistem yang selalu melakukan interaksi secara timbal balik dengan lingkungannya. Interaksi timbal balik ini dengan sendirinya akan membentuk suatu sistem, kemudian kita kenal sebagai sistem ekologi atau ekosistem. Dengan demikian, ekosistem adalah suatu satuan fungsional dasar yang menyangkut proses-proses interaksi organisme hidup dengan lingkungannya. Sebagai suatu sistem maka di dalam suatu ekosistem selalu dijumpai proses interaksi meliputi aliran energi, daur materi, rantai makanan, siklus biogeokimiawi, serta proses perkembangan dan pengendalian populasi.

Istilah ekosistem mula-mula diperkenalkan pada tahun 1935 oleh seorang pakar ekologi dari Inggris **A.G. Tansley**. Namun, konsep ekosistem pada dasarnya sudah mulai dirintis sebelumnya, yaitu pada tahun 1877 oleh **Carl Mobius** (Jerman) dengan menggunakan istilah Biocoenosis, kemudian pada tahun 1887 **S.A. Forbes** (Amerika) menggunakan istilah Mikrokosmos. Di Rusia pada mulanya lebih banyak digunakan istilah Biocoenosis, ataupun Geobiocoenosis sehingga akhirnya istilah ekosistem (*ecosystem*) lebih banyak digunakan dan diterima oleh para ilmuwan dan akademisi.

A. Struktur Ekosistem

Bila kita memasuki suatu ekosistem baik ekosistem daratan maupun perairan, kita akan menjumpai adanya dua macam organisme hidup yang merupakan komponen biotik ekosistem. Kedua macam komponen biotik tersebut adalah berikut ini.

1. Komponen autotropik, yaitu komponen hidup yang terdiri atas organisme yang mampu menghasilkan makanan (energi) dari bahan-bahan anorganik melalui proses fotosintesis ataupun kemosintesis.
2. Komponen heterotropik, yaitu komponen hidup yang terdiri atas organisme yang menggunakan, mengubah atau memecah bahan organik kompleks yang telah ada yang dihasilkan oleh komponen autotropik.

Secara struktural ekosistem mempunyai enam komponen sebagai berikut

1. Bahan anorganik, antara lain meliputi C, N, CO₂, H₂O, dan lain-lain. Bahan-bahan ini akan mengalami daur ulang.
2. Bahan organik, yang meliputi karbohidrat, lemak, protein, bahan humus, dan lain-lain. Bahan-bahan organik ini merupakan penghubung antara komponen biotik dan abiotik.
3. Kondisi iklim, yang meliputi faktor-faktor iklim, misalnya angin, curah hujan, dan suhu.
4. Produsen adalah berbagai organisme autotrof, terutama tumbuhan hijau daun (berklorofil). Organisme-organisme ini mampu hidup hanya dengan bahan anorganik karena mampu menghasilkan energi makanan sendiri, misalnya dengan fotosintesis. Selain tumbuhan berklorofil, juga ada bakteri kemosintetik yang mampu menghasilkan energi kimia dengan reaksi kimia, dan peranan bakteri kemosintetik ini begitu besar jika dibandingkan dengan tumbuhan fotosintetik.
5. Makrokonsumen adalah organisme heterotrof, terutama hewan-hewan. Organisme ini hidupnya tergantung pada organisme lain, dan hidup dengan memakan materi organik yang dibuat oleh produsen.

6. Mikrokonsumen adalah organisme-organisme heterotrof, sapotrof, dan osmotrof, terutama bakteri dan fungi. Mereka inilah yang memecah materi organik yang berupa sampah dan bangkai, menguraikannya sehingga terurai menjadi unsur-unsurnya (bahan anorganik). Kelompok ini juga disebut sebagai organisme pengurai.

Komponen-komponen 1, 2, dan 3 merupakan komponen abiotik atau nonbiotik atau komponen yang tidak hidup, sedangkan komponen-komponen 4, 5, dan 6 merupakan komponen yang hidup atau komponen biotik atau makhluk hidup.

Secara fungsional ekosistem dapat dipelajari menurut proses yang berlangsung di dalamnya, dan terdapat enam proses sebagai berikut.

1. Lintasan atau aliran energi.
2. Rantai makanan.
3. Pola keragaman berdasar waktu dan ruang.
4. Daur ulang (siklus) *biogeokimiawi*.
5. Perkembangan dan evolusi.
6. Pengendalian atau sibernetika.

Konsep ekosistem merupakan konsep yang memiliki makna sangat luas dan merupakan konsep dasar dalam ekologi. Konsep ini menekankan hubungan timbal balik yang saling berkaitan antara organisme-organisme hidup (biotik) dengan lingkungannya yang tidak hidup (abiotik). Setiap ekosistem di dunia ini mempunyai struktur umum yang sama, yaitu adanya enam komponen, seperti di atas dan adanya proses interaksi antarkomponen-komponen tersebut. Jadi, baik ekosistem alami (daratan dan perairan) maupun ekosistem buatan (pertanian, perkebunan), keduanya mempunyai kesamaan akan dua hal tersebut.

Sering terjadi bahwa proses autotropik dan heterotropik serta organisme-organisme yang bertanggung jawab atas proses-proses tersebut terpisah (secara tidak sempurna), baik menurut ruang atau waktu. Sebagai contoh dapat disebutkan bahwa di hutan, misalnya proses autotropik terjadi pada saat proses fotosintesis berlangsung yang umumnya lebih banyak terjadi

pada bagian kanopi hutan, sedangkan proses heterotropik lebih banyak terjadi di permukaan lantai hutan (hal ini terpisah berdasar ruang). Proses autotropik juga terjadi pada waktu siang hari, sedangkan proses heterotropik dapat terjadi baik pada siang ataupun malam hari (terpisah berdasarkan waktu).

Adanya pemisahan tersebut juga dapat dilihat pada ekosistem perairan. Pada ekosistem perairan, lapisan permukaan yang dapat ditembus oleh sinar matahari merupakan lapisan autotropik. Dalam lapisan ini proses autotropik adalah dominan, di mana lapisan perairan paling bawah yang tak tembus sinar matahari merupakan lapisan heterotropik. Di dalam lapisan ini berlangsung proses heterotropik.

Dengan adanya pemisahan berdasarkan ruang dan waktu tersebut maka lintasan energi juga dibedakan menjadi dua lintasan sebagai berikut.

1. **Lintasan merumput** (*grazing circuit*), yang meliputi proses melalui konsumsi langsung terhadap tumbuhan hidup atau bagian tumbuhan hidup, ataupun terhadap organisme hidup lainnya.
2. **Lintasan detritus organik** (*organic detritus circuit*) yang meliputi akumulasi dan penguraian sampah serta bangkai.

Pada umumnya komponen-komponen abiotik merupakan pengendali organisme dalam melaksanakan peranannya di dalam ekosistem. Bahan-bahan anorganik sangat diperlukan oleh produsen untuk kehidupannya. Bahan-bahan ini juga merupakan penyusun dari tubuh organisme, demikian juga bahan organik. Di samping itu bahan-bahan organik sangat diperlukan oleh konsumen (makro maupun mikrokonsumen) sebagai sumber makanan. Tumbuhan yang berperan sebagai produsen dengan aktivitasnya melakukan proses fotosintesis merupakan komponen penghasil energi kimia atau makanan. Tumbuh-tumbuhan berdaun hijau inilah yang menghasilkan energi makanan, kemudian digunakan (dimakan) oleh manusia dan hewan yang bertindak sebagai konsumen. Komponen-komponen mikrokonsumen atau komponen pengurai bertanggung jawab untuk mengembalikan unsur-unsur kimia ke

alam (dalam tanah) sehingga nantinya unsur-unsur kimia ini dapat digunakan kembali oleh produsen untuk pertumbuhan hidupnya. Dengan demikian, keberadaan ekosistem akan terjamin kelangsungan hidupnya bilamana peranan tiap-tiap komponen ekosistem tersebut berlangsung dengan baik, sebaliknya apabila peran setiap komponen lingkungan tidak dapat berlangsung dengan baik maka keberadaan ekosistem beserta komponennya dapat terancam. Demikian pula bila peran tersebut berjalan pada kecepatan yang tidak semestinya, misalnya tersendat-sendat maka keseimbangan di dalam ekosistem akan mudah terganggu. Jelaslah bahwa keberadaan masing-masing komponen ekosistem di dalam suatu ekosistem sangat penting untuk dijaga kelestariannya, demikian pula terhadap faktor keterkaitan atau proses interaksi komponen yang satu dengan komponen yang lainnya.

B. Contoh Berbagai Ekosistem

Berikut ini dikemukakan beberapa contoh ekosistem yang mudah kita kenali sehingga kita dapat memahami bagaimana keberadaan komponen ekosistem dan proses-proses interaksi yang terjadi di antaranya.

1. Ekosistem Kolam

Untuk menggambarkan kondisi suatu ekosistem secara sederhana dapat kita bayangkan sebuah kolam ikan dengan sejumlah ikan dan komponen lainnya di sebuah "ekosistem kolam". Kolam dapat dikatakan sebagai salah satu ekosistem yang sempurna apabila kita dapat melihat proses-proses interaksi antar empat komponen lingkungan dapat berlangsung dengan baik. Empat komponen ekosistem kolam tersebut adalah sebagai berikut.

- a. Komponen abiotik, yang terdiri atas materi anorganik dan organik yang terlarut dalam air berupa CO_2 , O_2 , Ca, N, garam-garam fosfat, asam amino, materi humus, dan lain-lain. Sebagian kecil unsur hara yang terdapat di dalam kolam bersifat larut sehingga dapat segera digunakan oleh

organisme lainnya. Sebagian besar unsur-unsur hara tersebut mengendap di dalam sedimen dasar kolam. Laju pembebasan unsur hara dari bentuk padat ke bentuk terlarut, masuknya cahaya ke dalam kolam, fluktuasi suhu, dan kisaran iklim merupakan proses-proses penting yang mengatur kecepatan proses metabolisme dalam ekosistem kolam.

- b. Komponen produsen di dalam kolam terdapat dalam dua bentuk, yaitu:
 - 1) tumbuhan berakar atau mengapung (biasanya hanya pada kolam yang dangkal atau pada bagian yang dangkal);
 - 2) fitoplankton (biasanya algae) berperan sebagai produsen utama di perairan. Dengan adanya fitoplankton dalam kolam menyebabkan air kolam berwarna kehijauan.



Gambar 1.2. Ekosistem Kolam

- c. Makrokonsumen adalah hewan-hewan kecil dalam kolam, seperti larva serangga, crustacea (udang-udangan), dan ikan. Konsumen primer biasanya memakan langsung

tumbuhan hidup, dan konsumen primer ini ada dua macam, yaitu zooplankton (hewan yang memakan fitoplankton), dan *bentos* (hewan yang hidup di dasar perairan), sedangkan konsumen sekunder meliputi serangga dan ikan yang akan memakan konsumen primer. Di samping itu ada juga konsumen yang memakan detritus (sampah).

- d. Saprotrof atau organisme pengurai (mikrokonsumen) yang terdiri atas bakteri akuatik, flagellata, dan fungi. Organisme pengurai ini umumnya terdapat di permukaan sedimen dasar kolam.

2. Ekosistem Padang Rumput

Kalau kolam merupakan contoh ekosistem perairan maka padang rumput merupakan suatu contoh untuk ekosistem daratan. Salah satu perbedaan yang mencolok antara ekosistem perairan dengan ekosistem daratan adalah pada komponen produsen.

Pada ekosistem perairan, produsen utamanya adalah fitoplankton yang berukuran sangat kecil (mikroskopik). Produsen lain yang ada di perairan adalah tumbuhan di air yang ukuran tubuhnya kecil, lemah tanpa jaringan penguat sehingga biomasnya kecil, sedangkan pada ekosistem daratan dijumpai produsen dengan tubuh yang besar bahkan berupa pohon yang tinggi dengan jaringan penguat yang kokoh sehingga biomasnya juga besar.



Gambar 1.3. Ekosistem Padang Rumput

Gambar 1.3 memperlihatkan suatu contoh padang rumput yang apabila diamati maka komponen ekosistemnya terdiri atas empat komponen, yaitu produsen, makrokonsumen, mikrokonsumen, dan makhluk tak hidup (abiotik).

- a. Produsen adalah komponen biotik yang terdiri atas rumput, herba, atau seluruh tumbuhan yang memiliki akar.
- b. Makrokonsumen adalah komponen biotik yang terdiri atas serangga, cacing, burung, dan mamalia. Konsumen sekunder berupa laba-laba, dan ular, sedangkan cacing, artropoda tanah, siput darat merupakan pemakan sampah atau sisa-sisa bahan organik.
- c. Mikrokonsumen adalah komponen biotik yang terdiri atas bakteri dan fungi.
- d. Komponen abiotik dalam ekosistem ini adalah bebatuan, pasir, dan tanah dengan kandungan hara serta materi organik yang terdapat di dalam tanah.

Dengan membandingkan kedua ekosistem tersebut (kolam dan padang rumput) maka jelaslah bahwa penyusun masing-masing komponen ekosistem berbeda, tetapi peranan mereka sebagai komponen ekosistem tetap sama.

Tabel 1.1. Perbandingan Kerapatan dan Biomassa pada Ekosistem Perairan dan Daratan

Komponen Biotik	Ekosistem Perairan		Ekosistem Daratan	
	Kerapatan	Biomassa	Kerapatan	Biomassa
Produsen	$10^8 - 10^{10}$	5,0	$10^2 - 10^3$	500,0
Konsumen pada lapisan autotropik	$10^5 - 10^7$	0,5	$10^2 - 10^3$	1,0
Konsumen pada lapisan heterotropik \$	$10^5 - 10^6$	4,0	$10^5 - 10^6$	4,0
Konsumen besar yang mengembara.	0,1 – 0,5	15.0	0,01 – 0,05	0,3* - 15,0**
Mikrokonsumen (Saprotagus)	$10^{13} - 10^{14}$	1 – 10@	$10^{14} - 10^{15}$	10 – 100@

Sumber : Odum, 1971

Keterangan:

\$: Untuk perairan, termasuk hewan ukuran sekecil *Ostracoda*.

Untuk daratan termasuk hewan ukuran sekecil *Nematoda* kecil dan *Acarina* tanah.

* : Termasuk burung kecil dan mamalia kecil (*Rodentia*).

** : Termasuk 2-3 ekor sapi per hektar.

@ : Biomassa didasarkan perkiraan $10^{13} = 1$ gram berat kering.

3. Ekosistem Daerah Aliran Sungai

Meskipun sungai, waduk, ataupun danau merupakan suatu ekosistem tersendiri, tetapi metabolismenya (proses-proses yang berlangsung di dalamnya) serta kestabilan dalam jangka panjang sangat dipengaruhi oleh masukan energi cahaya matahari serta

masuk materi dari daerah sekelilingnya. Daerah sekeliling inilah, kemudian disebut sebagai daerah aliran sungai (DAS).

Laju masukan air maupun materi dari DAS ini akan menentukan proses metabolisme dalam waduk ataupun danau dan bahkan menentukan umur ekosistem tersebut. Masukan bahan-bahan organik atau limbah dengan laju atau kuantitas yang besar tentunya akan mengganggu stabilitas ekosistem tersebut. Demikian juga masukan materi yang lain, misalnya partikel-partikel tanah yang akan menyebabkan sedimentasi dengan cepat, yang pada gilirannya pendangkalan yang terjadi.

Masukan materi-materi tersebut memang menyebabkan pengayaan ekosistem. Pada dasarnya materi-materi tadi diperlukan untuk proses metabolisme, tetapi kalau terlalu banyak, terjadi pengayaan atau eutropikasi. Hal ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Saat ini dikenal adanya eutropikasi budaya yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Dengan demikian, untuk dapat mengelola badan-badan air (danau dan waduk) dengan baik maka tidak boleh dilupakan daerah aliran sungainya. Tanpa pengelolaan daerah aliran sungai maka akan sia-sia usaha dalam mengelola badan air yang bersangkutan. Demikian halnya pengelolaan daerah muara, pantai, laut, dan lain sebagainya harus pula tetap memperhatikan aktivitas di daratan.

Homeostasis

Setiap ekosistem mampu menjaga dan mengendalikan dirinya sendiri, termasuk komponen-komponen biotik maupun abiotik yang terdapat di dalamnya. Kemampuan ekosistem untuk menangkal berbagai perubahan ataupun gangguan yang dialaminya sehingga terjagalah keseimbangan di dalamnya disebut sebagai homeostatis. Mekanisme homeostatis ini sangat rumit dan menyangkut banyak faktor serta mekanisme, termasuk di dalamnya mekanisme penyimpanan bahan atau materi, pelepasan unsur hara, pertumbuhan populasi, produksi, dan penguraian atau proses dekomposisi.

Meskipun ekosistem mempunyai kemampuan untuk menangkal setiap gangguan terhadapnya untuk menjaga supaya keseimbangan ekosistem tetap ada, kemampuan tersebut ada batasnya. Manusia yang sebetulnya merupakan salah satu unsur dalam ekosistem, justru sering kali merupakan pengganggu terbesar terhadap kelangsungan hidup ekosistem itu sendiri. Hal ini terjadi ketika manusia memanfaatkan sumber daya alam untuk kesejahteraan mereka. Misalnya, dalam pemanfaatan hutan. Penebangan pohon oleh manusia sering kali melampaui kemampuan hutan tersebut untuk pulih kembali. Akibatnya hutan menjadi rusak, tidak dapat pulih kembali dan akan menjadi ekosistem yang berbeda dan bahkan bisa menjadi gundul sehingga mengalami erosi yang sangat besar. Apabila hal ini berlanjut maka dikhawatirkan akan berubah menjadi padang pasir. Oleh karena itu, perlu dipahami kaidah-kaidah ekosistem, dan merupakan hal yang penting digunakan sebagai dasar pengelolaan suatu ekosistem.

Pencemaran lingkungan juga merupakan salah satu bentuk gangguan yang sudah melebihi batas kemampuan ekosistem. Sungai yang semula bersih menjadi tercemar karena di sepanjang aliran sungai tersebut terdapat banyak pabrik yang semuanya membuang limbah cairnya ke dalam sungai tersebut. Industri yang tumbuh dengan pesat baik kuantitas maupun macamnya, juga dapat menimbulkan dampak buruk lainnya, seperti pencemaran udara oleh asap pabrik. Penggunaan bahan-bahan beracun, seperti insektisida, herbisida, fungisida, dan pupuk buatan dapat menimbulkan pencemaran pada air dan tanah. Sarana transportasi berupa kendaraan bermotor juga akan menambah kadar pencemaran di udara.



Latihan 2

Untuk lebih memantapkan pemahaman Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2 maka kerjakanlah latihan berikut ini!

- 1) Apakah yang dimaksud dengan ekosistem?

- 2) Sebutkan komponen-komponen serta proses-proses yang terjadi di dalam ekosistem!
- 3) Jelaskan mengapa produsen di ekosistem perairan mempunyai ukuran yang lebih kecil dan mempunyai tubuh yang lebih lemah dibandingkan produsen di ekosistem daratan!
- 4) Jelaskan apa yang dimaksud dengan homeostasis!
- 5) Jelaskan mengapa untuk pengelolaan suatu waduk harus pula dikelola daerah aliran sungainya!
- 6) Bandingkan ekosistem kolam dengan ekosistem padang rumput!

Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk menjawab latihan tersebut di atas, Anda dapat mempelajari kembali Kegiatan Belajar 2 tentang hal-hal berikut ini.

- a. Struktur ekosistem.
- b. Contoh ekosistem.
- c. Daerah aliran sungai.
- d. Homeostasis.

Selain itu untuk lebih memahami konsep ekosistem Anda disarankan untuk mengamati kolam atau kebun di sekitar tempat tinggal Anda.



Rangkuman

Ekosistem merupakan satuan fungsional dasar yang menyangkut proses interaksi organisme hidup dengan lingkungan mereka. Istilah tersebut pada mulanya diperkenalkan oleh A.G. Tansley pada tahun 1935. Sebelumnya telah digunakan istilah-istilah lain, yaitu biocoenosis, dan mikrokosmos.

Setiap ekosistem memiliki enam komponen, yaitu produsen, makrokonsumen, mikrokonsumen, bahan anorganik, bahan organik,

dan kisaran iklim. Perbedaan antara satu ekosistem dengan ekosistem lainnya hanya pada unsur-unsur penyusun masing-masing komponen tersebut. Masing-masing komponen ekosistem mempunyai peranan dan mereka saling terkait dalam melaksanakan proses-proses dalam ekosistem. Proses-proses dalam ekosistem meliputi aliran energi, rantai makanan, pola keanekaragaman, siklus materi, perkembangan, dan pengendalian.

Daerah Aliran Sungai (DAS) dari suatu badan air, akan menentukan stabilitas dan proses metabolisme yang berlangsung di dalam badan air tersebut. Pengelolaan badan air harus menyertakan pengelolaan daerah aliran sungainya.

Setiap ekosistem mampu mengendalikan dirinya sendiri, dan mampu menangkal setiap gangguan terhadapnya, kemampuan ini disebut *Homeostasis*, tetapi kemampuan ini ada batasnya. Bilamana batas kemampuan tersebut dilampaui, ekosistem akan mengalami gangguan. Pencemaran lingkungan merupakan salah satu bentuk gangguan ekosistem akibat terlampauinya kemampuan *homeostatis*.



Tes Formatif 2

Pilih satu jawaban yang paling tepat dari beberapa alternatif jawaban yang disediakan!

- 1) Komponen abiotik di dalam suatu ekosistem berperan sebagai
 - A. penyedia makanan bagi setiap komponen biotik
 - B. sumber energi bagi tumbuhan
 - C. pengendali proses-proses di dalam ekosistem tersebut
 - D. penghasil energi kimia bagi tumbuhan

- 2) Unsur-unsur penyusun produsen dalam suatu ekosistem dapat terdiri dari
 - A. tumbuhan dan bakteri
 - B. organisme fotosintetik dan kemosintetik

- C. hewan dan fungi
 - D. tumbuhan, fungi, dan bakteri
- 3) Produsen dalam ekosistem perairan berbeda dengan produsen dalam ekosistem daratan, yaitu produsen
- A. di perairan bertubuh kecil, lunak, lemah, dan mempunyai biomassa lebih kecil
 - B. di perairan lebih besar metabolismenya karena mempunyai biomassa lebih besar
 - C. di daratan lebih besar laju metabolismenya karena mempunyai biomassa lebih besar
 - D. di perairan juga hidup di daratan
- 4) Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan daerah
- A. di sekitar sungai yang merupakan tebing sungai
 - B. yang dialiri sungai
 - C. yang merupakan mata air sungai
 - D. di sekitar suatu badan air, yang memberikan masukan ke badan air tersebut
- 5) Homeostatis adalah kemampuan
- A. suatu ekosistem untuk mengendalikan dirinya sendiri dan menangkal setiap gangguan
 - B. untuk menghalangi masukan apa saja ke dalam ekosistem
 - C. untuk menanggulangi gangguan sehingga ekosistem tidak akan pernah terganggu
 - D. untuk menangkal gangguan sehingga ekosistem menjadi stabil dan statis
- 6) Pencemaran lingkungan dapat terjadi karena
- A. ekosistem tidak mempunyai homeostatis

- B. gangguan terhadap ekosistem melampaui kemampuan homeostatis
 - C. ekosistem dimasuki limbah
 - D. orang menggunakan pestisida untuk mengendalikan hama
- 7) Lintasan merumput adalah
- A. proses memakan rumput
 - B. lintasan yang melewati padang rumput
 - C. lintasan energi melalui proses konsumsi langsung terhadap tumbuhan hidup
 - D. lintasan energi melalui tumbuhan rumput
- 8) Dalam suatu ekosistem selalu akan dijumpai
- A. pohon sebagai produsen
 - B. produsen
 - C. biomassa produsen lebih besar dari pada biomassa konsumen
 - D. biomassa konsumen lebih besar dari pada biomassa produsen
- 9) Dibandingkan dengan ekosistem perairan maka ekosistem daratan mempunyai jumlah
- A. produsen lebih besar
 - B. konsumen lebih besar
 - C. mikrokonsumen lebih besar.
 - D. biomassa produsen lebih besar
- 10) Konsep ekosistem
- A. sudah dirintis sebelum istilah ekosistem dikemukakan oleh Tansley
 - B. dirintis setelah Tansley mengemukakan istilah ekosistem
 - C. merupakan konsep tentang struktur dan fungsi dari alam
 - D. sudah dikemukakan oleh Hippocrates dengan istilah lain

Setelah mengerjakan Tes Formatif 2 di atas, cocokkan jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar, kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

Rumus:

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban Anda yang benar}}{10} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai:

90% - 100% = baik sekali

80% - 89% = baik

70% - 79% = cukup

< 70% = kurang

Bila tingkat penguasaan Anda mencapai 80% ke atas. **Bagus!** Anda cukup memahami materi Kegiatan Belajar 2. Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 3. Tetapi bila tingkat penguasaan masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

3

Aliran Energi dan Daur Materi

Di alam semesta hanya terdapat satu sumber energi yang hanya berasal dari cahaya matahari walaupun ada masyarakat yang mengatakan bahwa ada sumber energi selain matahari semisal energi air, energi listrik, energi ombak, dan lain sebagainya itu semua adalah hasil transformasi (aliran) energi matahari menjadi energi listrik, energi air, dan seterusnya. Jadi, sesungguhnya sumber energi tersebut hanyalah satu, yaitu matahari. Lalu, bagaimana cara terjadinya perubahan energi matahari menjadi energi listrik tersebut? Bagaimana cara terjadinya perubahan energi matahari menjadi energi air?

Energi matahari menjadi energi listrik dapat terjadi dengan adanya peristiwa perpindahan energi matahari ke daun atau tumbuhan yang berklorofil, daun yang berklorofil tersebut akan mengubah energi matahari menjadi energi kimia yang biasa disebut sebagai reaksi fotokimia sehingga energi kimia berubah menjadi gula atau glukosa, glukosa selanjutnya berubah menjadi karbohidrat pada tumbuh-tumbuhan. Dengan karbohidrat maka tumbuhan dapat tumbuh dan berkembang menjadi pohon yang besar. Pohon yang besar tadi menjadi tua dan lapuk, kemudian ada yang tertimbun tanah dan dalam waktu ratusan tahun di tanah maka terjadilah perubahan menjadi fosil yang nantinya fosil ini dijadikan sebagai bahan bakar. Dengan bahan bakar yang kita kenal, seperti solar, bensin, dan lain-lain akan bisa dimanfaatkan untuk membakar dan menggerakkan dinamo motor disel yang dapat menghasilkan energi listrik. Jadi perubahan energi surya menjadi energi listrik memerlukan

waktu yang lama dan menghabiskan biaya yang tidak sedikit pula.

Daur materi terjadi sebagai akibat dari proses makan memakan materi yang berawal dari daun yang dimakan kambing, kambing, kemudian dimakan oleh manusia, dan materi manusia jika mati akan dimakan oleh jasad renik atau mikroba di tanah. Selanjutnya materi yang ada pada mikroba dicerna, kemudian dikeluarkan menjadi mineral yang dibutuhkan oleh tanah dan akar tumbuh-tumbuhan. Demikian seterusnya daur materi yang berasal dari tumbuhan akan kembali lagi kepada tumbuhan.

A. Hukum Termodinamika

Energi diartikan sebagai suatu yang mempunyai kemampuan untuk melakukan kerja. Pengertian ini dapat kita saksikan pada sesuatu benda yang bergerak maka benda yang bergerak tersebut pasti ada yang menggerakkannya dan yang melakukannya dapat berupa energi panas, energi listrik, energi kimia, dan lain sebagainya. Perilaku energi di alam semesta tunduk dan patuh kepada hukum-hukum termodinamika, seperti yang kita kenal pada fisika.

Terdapat dua formulasi hukum termodinamika yang selalu terpakai dalam studi ekologi ataupun pada ilmu-ilmu lainnya, yaitu sebagai berikut.

1. Hukum Termodinamika I: Hukum ini menyatakan bahwa energi dapat diubah bentuknya, dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain, tetapi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan. Hukum ini dikenal juga sebagai *Hukum Kekekalan Energi*. Sebagai contohnya adalah cahaya. Cahaya merupakan energi, dan energi cahaya ini dapat diubah bentuknya menjadi energi panas, energi kerja, atau energi makanan.
2. Hukum Termodinamika II: Hukum ini menyatakan bahwa setiap proses perubahan bentuk energi selalu tidak efisien. Oleh karena itu, setiap perubahan bentuk energi maka energi baru yang terbentuk konsentrasinya selalu lebih kecil dari pada konsentrasi energi sebelumnya.

Organisme hidup, ekosistem, dan seluruh biosfer memiliki sifat-sifat termodinamika yang khas, yaitu mampu menjaga keteraturan yang tinggi atau kondisi yang mempunyai entropi rendah. Entropi adalah ukuran ketidakteraturan suatu sistem atau jumlah energi yang tidak dapat dimanfaatkan dalam suatu sistem. Entropi yang rendah dapat dicapai oleh suatu sistem dengan cara memanfaatkannya yang efisien, misalnya energi makanan akan diubah oleh metabolisme tubuh manusia menjadi energi dengan kegunaan rendah, misalnya panas tubuh yang tidak dapat dimanfaatkan. Akan tetapi, panas tubuh akan ke luar dari ekosistem tubuh menjadi limbah dan pencemar. Ekosistem dapat terjamin dalam kondisi teratur dan dengan entropi yang rendah melalui proses respirasi oleh komunitas yang terjadi secara terus-menerus.

B. Energi dan Materi

Perilaku energi di dalam suatu ekosistem terjadi sama, seperti halnya yang terjadi di alam pada umumnya. Hal ini menunjukkan bahwa hukum-hukum termodinamika berlaku juga di dalam ekosistem. Berlakunya hukum-hukum termodinamika dalam ekosistem dapat dilihat dengan jelas bilamana kita mempelajari aliran energi dalam ekosistem.

Dikenal adanya dua macam energi, yaitu energi kinetik dan energi potensial. Energi kinetik adalah energi yang dapat menimbulkan gerak dan menghasilkan kerja. Energi potensial adalah energi yang dalam keadaan istirahat. Bilamana kayu dibakar maka energi potensial di dalam kayu akan setara dengan energi kinetik yang dilepas berupa panas. Hal seperti ini disebut sebagai reaksi eksotermik, sedangkan energi dari lingkungan dimasukkan ke dalam suatu sistem menjadi energi yang lebih berdaya guna di sebut reaksi endotermik, misalnya fotosintesis. Kedua reaksi tersebut berkenaan dengan Hukum Termodinamika I.

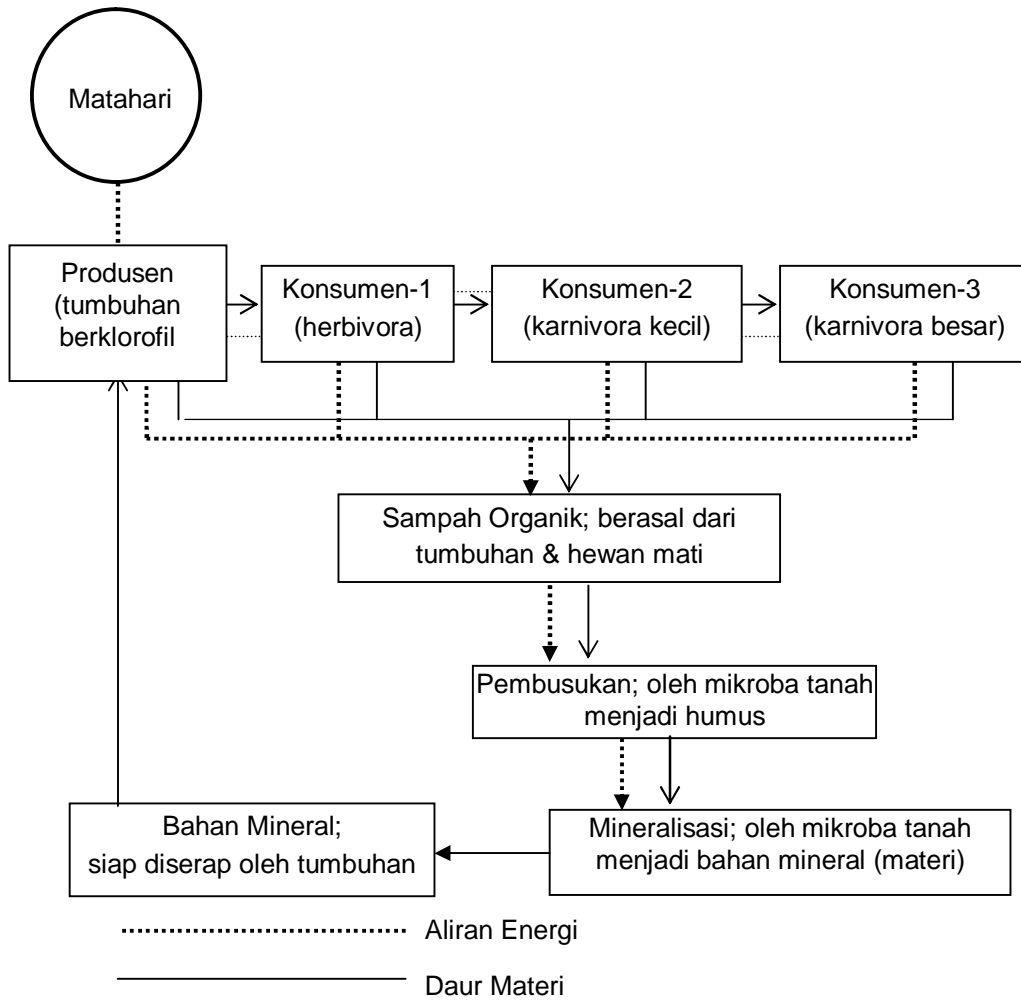
Materi atau bahan-bahan yang tidak menghasilkan energi akan selalu mengalami siklus atau daur ulang, sedangkan energi tidak mengalami siklus, tetapi mengalir sepanjang waktu tanpa henti. Energi akan mengalir di dalam ekosistem melalui komponen biotik berawal dari energi matahari, kemudian dimanfaatkan oleh tumbuhan berdaun hijau. Dengan demikian, nitrogen, karbon, air, dan bahan-bahan anorganik lainnya akan mengalami daur ulang atau sirkulasi beberapa kali antara komponen biotik dengan lingkungannya. Dengan kata lain bahwa materi yang tidak mengandung energi akan mengalami daur ulang. Mengenai daur ulang dan contoh-contohnya akan dibahas lebih lanjut dalam kegiatan belajar berikutnya.

Selanjutnya bahwa energi yang diterima hanya dapat digunakan sekali saja oleh komponen suatu biotik (organisme atau populasi), kemudian diubah menjadi energi panas dan sebagian lepas ke lingkungan. Logika ini berlaku, seperti halnya dengan kita dalam menggunakan energi. Pagi hari kita makan pagi, setelah itu kita tidak dapat menggunakan lagi makan pagi tersebut sehingga untuk mendapatkan energi lagi (energi baru) maka kita perlu makan lagi yaitu makan siang. Akan tetapi, penggunaan energi pada hal-hal tertentu, misalnya energi yang digunakan untuk kegiatan industri adalah energi yang telah terpakai dan menghasilkan limbah, sebaiknya energi limbah tersebut harus diupayakan untuk digunakan semaksimal mungkin dan seefisien mungkin.

C. Aliran Energi dan Daer Materi dalam Ekosistem

Interaksi energi dan materi dalam ekosistem merupakan perhatian utama bagi para pakar ekologi. Pada kenyataannya peristiwa aliran energi terjadi searah, sedangkan materi akan bersirkulasi (daur) dalam ekosistem dan hal ini merupakan dua asas atau hukum yang berlaku umum dalam ekologi.

Aliran energi dan daur materi dalam suatu ekosistem dapat digambarkan sebagai suatu diagram yang disederhanakan seperti terlihat pada Gambar 1.4.



Sumber: Hardjojo, dkk. (1996)

Gambar 1.4.
Diagram Aliran Energi dan Daur Materi dalam Suatu Ekosistem

Energi utama yang berasal dari sinar matahari hanya dapat ditangkap dan diserap serta dimanfaatkan secara sempurna oleh tumbuhan yang berdaun hijau atau berklorofil. Melalui proses reaksi fotokimia pada daun atau tumbuhan yang berklorofil

akan mengubah energi cahaya menjadi energi yang tersimpan dalam bentuk materi. Energi yang tersimpan (energi potensial) dalam wujud materi (karbohidrat atau glukosa dalam tumbuhan), kemudian dimanfaatkan oleh konsumen herbivore, seperti kambing yang memakan daun atau rumput hijau. Energi yang berasal dari matahari tersebut saat ini berada pada konsumen herbivora dan selain menjadi energi untuk keperluan hidupnya juga pada saat yang sama terdapat materi yang berpindah dari tumbuhan tersebut ke hewan herbivora yang memakannya. Perpindahan energi dan materi berlanjut apabila kambing (herbivora) dimakan oleh Harimau (karnivora) di mana pada saat yang sama terjadi perpindahan energi dan materi dari Kambing ke Harimau. Selanjutnya bila Harimau mati maka bangkai Harimau akan menjadi makanan bagi mikroba tanah, mikroba dalam tanah selama kehidupannya akan mengubah makannya menjadi unsur hara yang dilepas ke alam atau tanah. Materi yang dihasilkan oleh mikroba tanah berupa mineral akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai pupuk atau makanan bagi tanaman, demikian seterusnya materi pada tumbuhan akan dimanfaatkan oleh makhluk lain dalam ekosistem.

Diagram tersebut juga menggambarkan, misalkan cahaya matahari melepaskan energi kurang lebih sebesar $3.000 \text{ kcal/m}^2/\text{hari}$ hanya separonya saja yang dapat diabsorpsi oleh tumbuhan berklorofil (produsen). Sedangkan cahaya yang dapat digunakan untuk melakukan proses fotosintesis hanya kurang lebih sebesar $1.500 \text{ kcal/m}^2/\text{hari}$. Ternyata pula bahwa dari 1.500 kcal yang diabsorpsi oleh tumbuhan hanya menghasilkan seper seratus bagian saja atau kurang lebih sebesar 15 kcal saja yang menjadi produksi bersih. Sebagian besar energi cahaya tersebut tidak dapat diasimilasi, dan lepas dari ekosistem sebagai panas. Produksi bersih tersebut merupakan produksi primer bersih (sudah dikurangi energi untuk respirasi), yang tersedia bagi herbivora (konsumen primer).

Dari kcal yang tersedia sebagai produksi bersih ini tidak semuanya diasimilasi oleh konsumen primer. Sebagian energi yang tidak dapat digunakan akan terlepas ke alam, dan yang dapat diasimilasi hanyalah sebagian saja, kemudian digunakan

untuk respirasi dirinya sendiri sehingga sisanya hanya tinggal 1,5 kcal saja. Energi ini terus semakin mengecil hingga ke karnivora (konsumen selanjutnya). Jelaslah bahwa perilaku energi dalam ekosistem tetap tunduk kepada hukum-hukum termodinamika.



Latihan 3

Untuk lebih memantapkan pemahaman Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 3 ini, kerjakanlah latihan berikut ini!

- 1) Jelaskan bahwa hukum-hukum termodinamika berlaku dalam aliran energi di dalam ekosistem!
- 2) Jelaskan bagaimana aliran energi dalam ekosistem dapat berlangsung secara baik!
- 3) Jelaskan bagaimana daur atau siklus materi dapat terjadi secara terus-menerus di dalam ekosistem alami!
- 4) Jelaskan bagaimana cara kita sebaik-baiknya menggunakan energi!

Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menjawab latihan-latihan tersebut di atas, Anda dapat mempelajari kembali Kegiatan Belajar 3 tentang:

- a. hukum-hukum termodinamika;
- b. aliran energi dan daur materi



Rangkuman

Dikenal adanya dua hukum termodinamika, yaitu 1) energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, dan energi dapat berubah bentuk, 2) perubahan bentuk penggunaan energi tidak pernah terjadi secara 100% efisien.

Aliran energi dalam alam semesta 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 melalui proses rantai makanan. Tumbuhan dimakan oleh herbivora. Dengan demikian, energi makanan dari tumbuhan mengalir masuk ke tubuh herbivora masuk ke tubuh karnivora.

Di alam, rantai makanan 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 tropik yang sama. Makin tinggi aras tropiknya maka makin tinggi pula efisiensi ekologiannya.



Tes Formatif 3

Pilih satu jawaban yang paling tepat dari beberapa alternatif jawaban yang disediakan!

- 1) Entropi adalah
 - A. jumlah energi yang menjadi energi makanan
 - B. sejumlah energi yang tidak dapat digunakan atau tidak termanfaatkan
 - C. tingkat keteraturan suatu sistem
 - D. tingkat kemantapan ekosistem.

- 2) Jika ditinjau dari aspek efisiensi penyerapan energi, maka
 - A. kucing lebih efisien dari pada kambing
 - B. kambing lebih efisien dari pada burung elang
 - C. sapi lebih efisien dari pada ulat sutera
 - D. kambing sama efisiennya dengan tikus

- 3) Di dalam setiap ekosistem
 - A. selalu dijumpai adanya rantai makanan dan jaring-jaring makanan
 - B. ada aliran energi yang berawal dari kecil dan makin membesar
 - C. biomassa produsen selalu lebih besar dari pada biomassa konsumen primer
 - D. hukum termodinamika belum tentu berlaku

- 4) Aliran energi dalam setiap ekosistem
 - A. belum tentu berlangsung dan walaupun berlangsung biasanya sangat lambat prosesnya
 - B. selalu ada dan berlangsung melalui proses rantai makanan
 - C. tidak selalu mengikuti hukum termodinamika
 - D. selalu ada, tetapi tidak begitu penting artinya bagi kelangsungan hidup ekosistem

- 5) Supaya ekosistem terjamin kelangsungan hidupnya maka perlu menjaga agar
 - A. mempunyai entropi tinggi
 - B. selalu terjadi entropi rendah
 - C. selalu terjadi perubahan entropi
 - D. entropi stabil

- 6) Berikut adalah pernyataan yang benar dari hukum energi
 - A. dapat mengalami sirkulasi di alam
 - B. merupakan kemampuan untuk melakukan pekerjaan
 - C. dan materi tidak mengalami sirkulasi
 - D. dan materi dapat dimusnahkan

- 7) Energi sinar matahari hanya dapat ditangkap oleh
 - A. tumbuhan yang berdaun hijau
 - B. tumbuhan tanpa klorofil
 - C. manusia
 - D. teknologi mutakhir

- 8) Proses reaksi fotokimia pada tumbuhan yang berklorofil berfungsi untuk mengubah energi cahaya menjadi
- A. energi listrik
 - B. sinar
 - C. materi
 - D. panas
- 9) Pernyataan berikut ini yang akan menjadi limbah adalah
- A. energi yang dapat didaur ulang
 - B. energi yang tidak dapat didaur ulang
 - C. materi yang tidak dapat didaur ulang
 - D. materi yang dapat didaur ulang
- 10) Pernyataan berikut ini yang akan menjadi polutan adalah
- A. energi yang dapat didaur ulang
 - B. energi yang tidak dapat didaur ulang
 - C. materi yang tidak dapat didaur ulang
 - D. materi yang dapat didaur ulang

Setelah mengerjakan Tes Formatif 3 di atas, cocokkan jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 3 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar, kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 3.

Rumus:

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban Anda yang benar}}{10} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai:

90% - 100% = baik sekali

80% - 89% = baik

70% - 79% = cukup

< 70% = kurang

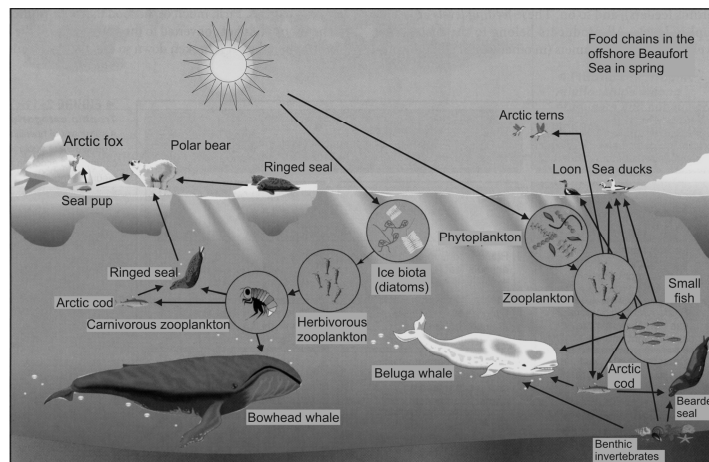
Bila tingkat penguasaan Anda mencapai 80% ke atas. **Bagus!** Anda cukup memahami materi Kegiatan Belajar 3. Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 4. Tetapi bila tingkat penguasaan masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi Kegiatan Belajar 3, terutama bagian yang belum dikuasai.

4

Rantai Makanan dan Produktivitas

Transfer energi makanan dari tumbuhan ke berbagai organisme terjadi melalui suatu proses yang berurutan memakan dan dimakan yang dikenal sebagai rantai makanan. Contoh suatu rantai makanan adalah berikut ini.

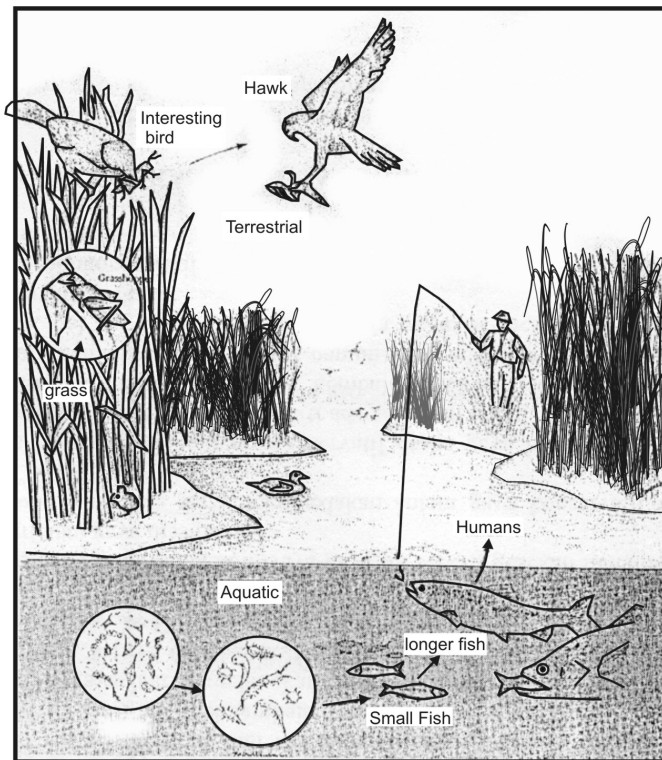
Tumbuhan di air (algae/fitoplankton) dimakan oleh zooplankton
→ zooplankton dimakan oleh ikan kecil (lepomis)
→ ikan kecil dimakan oleh ikan besar (microperpus)
→ ikan besar dimakan oleh karnivora lebih besar lagi.



Sumber: Nebel, J.B dan Wright, R.T. (2000)

Gambar 1.5. Rantai Makanan pada Ekosistem Perairan

Melalui proses rantai makanan tersebut energi makanan dari tumbuhan akan mengalir ke dalam serangga, kemudian mengalir ke dalam katak, ular dan akhirnya ke dalam burung elang. Akan tetapi, di alam rantai makanan tidak sesederhana seperti contoh tersebut. Seperti diketahui bahwa serangga dapat pula dimakan oleh burung dan burung pemakan serangga dapat pula dimakan oleh ular. Katak dapat pula dimakan oleh binatang pemangsa yang lain sehingga dalam suatu ekosistem terdapat banyak rantai makanan. Masing-masing rantai makanan dapat bercabang dan dapat pula saling berhubungan atau berkaitan satu dengan yang lain. Keadaan seperti ini kalau digambarkan akan membentuk gambaran sebagai jaring-jaring, kemudian disebut jaring-jaring makanan.



Sumber: Chiras (1988 : 62)

Gambar 1.6.
Rantai Makanan pada Ekosistem Perairan dan Daratan

Dalam suatu komunitas yang kompleks, organisme-organisme menerima energi makanan dari tumbuhan dengan jumlah langkah yang berbeda-beda, tergantung pada posisi mereka dalam rantai makanan. Makin dekat posisi mereka terhadap awal rantai makanan, makin sedikit jumlah langkahnya. Organisme-organisme yang mempunyai jumlah langkah yang sama dalam menerima energi makanan dari tumbuhan dikatakan termasuk dalam aras tropik yang sama. Tumbuhan berklorofil sebagai awal dari rantai makanan dikatakan menempati aras tropik I, demikian seterusnya. Aras tropik yang terakhir dalam suatu komunitas ditempati oleh puncak. Jumlah mata rantai makanan di dalam suatu ekosistem biasanya berjumlah antara 3 sampai 5 meskipun rantai makanan yang ke-5 ini pun sangat jarang ditemui. Oleh karena itu, jumlah aras tropik dalam ekosistem paling banyak hanya terdapat 5 aras saja.

Transfer energi dari suatu organisme ke organisme yang lain, atau dari suatu aras tropik yang lebih tinggi, sebagian dari energi tersebut terlepas (perhatikan Hukum Termodinamika II). Dengan demikian, makin pendek suatu rantai makanan atau makin dekat suatu organisme dengan awal rantai makanan maka energi makanan yang tersedia semakin besar pula. Sebaliknya semakin jauh posisi organisme dari titik awal rantai makanan maka semakin sedikit energi makanan yang tersedia bagi mereka.

A. Struktur Tropik dan Piramida Ekologi

Interaksi fenomena rantai makanan dan hubungan antara ukuran organisme dengan metabolisme menghasilkan suatu struktur tropik. Struktur tropik ini memiliki ciri khas tertentu untuk setiap ekosistem. Biasanya semakin besar ukuran tubuh suatu organisme maka semakin besar metabolismenya per gram biomasanya. Sebaliknya semakin kecil ukuran tubuh suatu organisme maka semakin kecil pula metabolismenya per gram berat tubuhnya.

Struktur tropik dapat diukur dan dinyatakan dalam jumlah energi yang disimpan atau energi yang ditambat per satuan, luas per satuan waktu pada aras tropik, dan dapat pula diukur

dengan biomassa per satuan luas. Struktur tropik juga dapat digambarkan dalam bentuk diagram, kemudian dikenal sebagai piramida ekologi. Aras Tropik I atau aras produsen diletakkan sebagai dasar piramida, kemudian di atasnya adalah aras-aras tropik yang berikutnya, seperti herbivora, karnivora, konsumen primer, konsumen sekunder, dan seterusnya.

Piramida Ekologi memberikan gambaran secara garis besar hubungan antara rantai makanan dengan komponen-komponen biotik dalam suatu ekosistem.

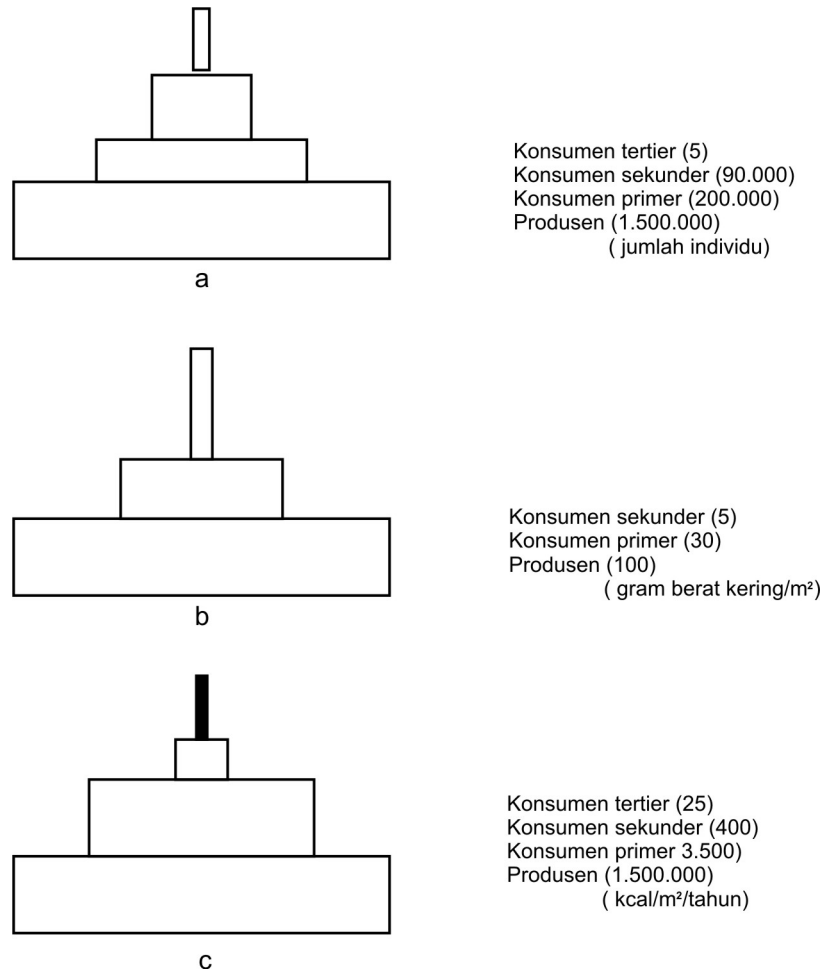
Menurut Smith (1973) dikenal tiga macam bentuk piramida ekologi sebagai berikut.

1. Piramida jumlah, yaitu bentuk piramid yang menggambarkan jumlah individu pada masing-masing aras tropik.
2. Piramida biomassa, yaitu bentuk piramid yang menggambarkan besarnya biomassa pada masing-masing aras tropik, biomassa dapat dinyatakan dalam berat kering atau berat abu.
3. Piramida energi, yaitu bentuk piramid menggambarkan laju aliran energi atau produktivitas pada setiap aras tropik, dan lajur aliran ini energi dapat dinyatakan dalam satuan kalori.

Piramid jumlah dapat menggunakan jumlah individu pada masing-masing aras tropik.

Apabila dibandingkan dengan piramida ekologi yang lain maka piramida jumlah tidak cukup memberikan gambaran jelas hubungan fungsional antara komponen-komponen biotik dalam suatu ekosistem.

Piramida biomassa dapat memberikan gambaran secara garis besar mengenai pengaruh-pengaruh secara menyeluruh dari rantai makanan dan pengaruh peran masing-masing komponen pada tiap aras tropik.



Sumber: Clapham (1973 : 29)

Gambar 1.7. Piramida ekologi: a. Piramida jumlah; b. Piramida biomassa; c. Piramida energi.

Piramida energi menggambarkan peranan masing-masing komponen dalam ekosistem. Apabila dibandingkan dengan kedua piramida ekologi yang lain maka piramida energi dapat digunakan untuk mengetahui peran suatu komunitas pada masing-masing aras tropik dalam ekosistem. Dalam hal ini

piramida energi dapat digunakan untuk mengetahui berapa besar aliran energi yang terdapat pada masing-masing aras tropik.

B. Efisiensi Ekologi

Rasio atau perbandingan antara laju aliran energi pada berbagai mata rantai dalam rantai makanan (pada berbagai aras tropik) disebut sebagai efisiensi ekologi. Piramida energi dapat digunakan untuk menghitung efisiensi ekologi tersebut.

Bahwa efisiensi ekologi hanya berarti apabila mereka tanpa dimensi, artinya apabila perbandingan aliran energi antara dua aras tropik tersebut terdapat dalam satuan energi yang sama. Jadi, apabila pada aras tropik I satuannya kalori, aras tropik II juga harus dalam kalori.

Di samping efisiensi ekologi maka dikenal pula istilah efisiensi asimilasi. Pada aras produsen efisiensi asimilasinya adalah:

$$\text{Efisiensi asimilasi} = \frac{\text{Energi yang ditambat (ikat) oleh tumbuhan}}{\text{Cahaya yang diabsorpsi}}$$

dan untuk aras konsumen efisiensi asimilasinya adalah:

$$\text{Efisiensi asimilasi} = \frac{\text{Makanan yang diabsorpsi (asimilasi)}}{\text{makanan yang ditelan}}$$

Selanjutnya rumus untuk efisiensi ekologi adalah:

$$\frac{P_n}{I_n}$$

Di mana P_n = energi yang lewat (mengalir) hingga aras $n + 1$,
 I_n = energi yang ditelan aras n .

Efisiensi ekologi aras tropik yang lebih tinggi pada umumnya juga lebih tinggi. Hal ini berarti bahwa organisme yang menempati aras tropik lebih tinggi, juga lebih efisien dalam menangkap energi. Padahal, diketahui bahwa bagi organisme yang menempati aras tropik lebih tinggi, energi makanan yang tersedia justru lebih kecil. Ini berarti bahwa hewan karnivora lebih efisien dalam menangkap energi apabila dibandingkan dengan hewan herbivora.

Hewan herbivora mempunyai efisiensi penangkapan energi yang lebih rendah dibandingkan dengan karnivora. Hal ini dapat kita lihat pada perilaku hewan sewaktu makan, di mana perilaku makan hewan "kambing" berbeda dengan perilaku makan hewan "singa". Hewan "kambing" akan selalu berusaha memakan rumput hijau apabila mereka bertemu dengan rumput hijau, sedangkan hewan "singa" akan mencari mangsa bilamana sedang lapar dan tidak akan menyerang mangsanya bila sedang tidak lapar. Bahkan hewan "singa" dapat bertahan hidup sehari-hari atau beberapa minggu bilamana telah memakan mangsanya. Contoh lain adalah ular piton, ular ini akan tidur selama satu sampai dua bulan setelah menelan seekor kambing. Ikan koki di dalam akuarium akan selalu menyantap makanan yang kita berikan, sebaliknya ikan oskar belum tentu menyantap langsung makanan yang kita berikan sekalipun makanan tersebut adalah mangsanya.

Contoh-contoh tersebut menunjukkan dengan jelas bahwa organisme yang efisien dalam menangkap energi akan efisien pula dalam menggunakan energi. Karnivora tidak akan membuang-buang tenaga atau energi untuk mencari, menyerang, dan menangkap mangsanya bilamana mereka belum lapar atau belum perlu masukan energi, sedangkan organisme yang tidak efisien dalam menangkap energi selalu berusaha untuk memakan makanan yang ditemuinya bilamana organisme ini tidak dapat mencukupi keperluan energi untuk hidupnya. Hal ini terjadi disebabkan karena jumlah masukan

energi setiap kali makan hanya sedikit atau efisiensi penangkapan energi oleh organisme sangat rendah.

C. Konsep Produktivitas

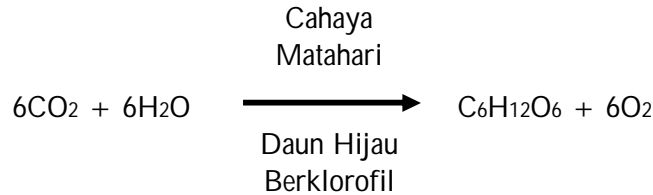
Produktivitas adalah laju penambahan atau penyimpanan energi oleh suatu komunitas dalam ekosistem. Di dalam suatu ekosistem dikenal adanya produsen dan konsumen sehingga dikenal juga adanya produktivitas oleh produsen dan produktivitas oleh konsumen. Produktivitas pada aras konsumen disebut produktivitas primer (dasar), sedangkan pada aras produsen disebut produktivitas sekunder.

1. Produktivitas Primer

Produktivitas primer adalah laju penambahan energi oleh produsen melalui proses fotosintesis. Produksi primer dari suatu ekosistem berasal dari proses fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan berdaun hijau dengan pengikatan energi yang berasal dari cahaya matahari. Secara kimia proses fotosintesis merupakan reaksi oksidasi-reduksi (redoks) yang meliputi penyimpanan bagian dari energi cahaya matahari sebatas energi potensial.

Produktivitas dari suatu ekosistem adalah kecepatan cahaya matahari yang diikat oleh vegetasi menjadi produktivitas kotor (Produktivitas Primer Bruto), sesuai dengan kecepatan fotosintesis, sedangkan produktivitas bersih (Produktivitas Primer Neto) dari vegetasi adalah produksi dalam arti dapat dipergunakan oleh organisme lain, yaitu sesuai dengan kecepatan fotosintesis (produksi bahan kering) dikurangi kecepatan respirasi. Karena suhu dan cahaya bervariasi sepanjang hari maka produktivitas tanaman dinyatakan dalam satuan berat kering (gram/kilogram) per satuan luas permukaan tanah per musim pertumbuhan atau per tahun.

Reaksi fotosintesis yang terjadi antara cahaya matahari, daun hijau berklorofil dapat terjadi sebagai berikut.



Sumber : Clapham (1973 : 23)

CO₂ berasal dari atmosfer

2H₂O berasal dari uap air dari tanah

C₆H₁₂O₆ adalah gula dalam sel tumbuhan

6O₂ adalah oksigen yang akan terlepas ke atmosfer

Dari O₂ yang dihasilkan oleh reaksi kimia tersebut akan terbentuk gas Ozon (O₃) di udara. Ozon yang ada pada lapisan udara (di lapisan Troposfer) akan melindungi bumi dari sinar matahari bergelombang pendek, antara lain melindungi sinar ultraviolet yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup.

Produksi primer yang menumpuk pada produsen atau tumbuhan selama suatu periode tertentu merupakan biomassa tumbuhan. Sebagian dari biomassa ini akan diganti melalui proses dekomposisi dan sebagian lagi tetap disimpan dalam waktu yang lebih lama sebagai materi yang berdaur hidup (*life cycle*). Jumlah akumulasi materi organik yang hidup pada suatu waktu disebut Standing Crop Biomass (biomassa hasil bawaan). Dengan demikian, jelas bahwa biomassa berbeda dengan produksi (produktivitas). Produktivitas komunitas bersih merupakan laju penyimpanan materi organik oleh produsen, yang tidak digunakan (dimakan) oleh heterotrof (herbivora). Jadi, produktivitas komunitas bersih merupakan sisa produktivitas primer sesudah dikurangi yang digunakan (dikonsumsi) oleh herbivora.

Produktivitas primer mempunyai arti yang sangat penting bagi manusia. Hal ini disebabkan karena produktivitas primer merupakan salah satu komponen penting dari sumber makanan bagi manusia. Kita sebagai manusia memiliki salah satu sumber makanan utama yang mengandung karbohidrat. Karbohidrat ini

dihasilkan oleh tumbuhan terutama tanaman sereal, misalnya padi, jagung, dan gandum. Selain itu ada pula tanaman tebu, kentang, dan ketela pohon. Selain berfungsi sebagai sumber makanan, tumbuhan juga berfungsi sebagai penghasil serat-serat yang penting bagi manusia. Demikian pula dengan kayu yang juga diperlukan oleh manusia untuk material perumahan meskipun kayu dari tumbuhan bukan berfungsi sebagai sumber makanan.

2. Produktivitas Sekunder

Produktivitas primer bersih merupakan energi makanan yang terdapat pada tumbuhan tersedia bagi konsumen. Memang tidak semua energi yang dapat dimanfaatkan oleh konsumen, misalnya kayu tidak dimakan oleh herbivora, ulat yang hanya makan daun-daun tertentu dan burung memakan biji atau buahnya saja. Kemampuan pencernaan konsumen berbeda-beda, misalnya Belalang hanya mengasimilasi 30% dari rumput yang dimakannya, Tikus mengasimilasi 85-90% dari apa yang dimakannya.

Kemampuan populasi konsumen untuk mengubah energi yang dikonsumsinya juga berbeda-beda. Invertebrata menggunakan sebanyak 79% dari energi yang diasimilasi untuk metabolisme dan 21% sisanya disimpan dalam tubuhnya, sedangkan vertebrata menggunakan 98% dari energi yang diasimilasinya untuk metabolisme. Jadi, invertebrata justru mampu mengubah energi lebih besar menjadi biomassa dibandingkan dengan vertebrata. Hal tersebut menunjukkan bahwa efisiensi penangkapan energi oleh organisme berbeda-beda. Perlu diketahui bahwa hewan dikelompokkan menjadi dua kelompok energetika. Mereka adalah kelompok termoregulator atau homoioterm, dan kelompok nontermoregulator atau poikiloterm. Dalam hal ini poikiloterm lebih efisien dalam mengubah energi menjadi biomassa dibandingkan dengan homoioterm. Efisiensi asimilasi oleh poikiloterm hanya sekitar 30% saja dalam mencerna makanan, sedangkan homoioterm mempunyai efisiensi sebesar 70%. Oleh karena itu, poikiloterm harus mengkonsumsi lebih banyak kalori untuk memperoleh energi yang cukup untuk memenuhi kebutuhan untuk

pemeliharaan, pertumbuhan, dan reproduksi, dibandingkan dengan homoioterm.

Laju penyimpanan materi organik oleh konsumen disebut sebagai produktivitas sekunder. Untuk produktivitas sekunder ini tidak dibedakan menjadi produktivitas bersih dan produktivitas kasar. Hal ini disebabkan konsumen hanya menggunakan energi makanan yang dihasilkan oleh produsen, kemudian mengubahnya menjadi jaringan tubuh konsumen melalui suatu proses yang menyeluruh. Jumlah energi yang mengalir dalam aras heterotropik adalah analog dengan produksi kasar pada aras autotropik, dan ini disebut sebagai asimilasi.

Produktivitas sekunder juga mempunyai manfaat yang cukup besar bagi manusia. Seperti kita ketahui, produktivitas sekunder dapat digunakan sebagai sumber protein hewani bagi manusia. Manusia di dalam hidupnya tidak hanya memerlukan karbohidrat saja, tetapi juga memerlukan protein serta lipida. Keperluan akan protein dan lipida ini harus dicukupi dari produktivitas sekunder. Protein dan lipida nabati saja tidak akan mencukupi bagi keperluan manusia bahkan diketahui manusia memerlukan asam amino tertentu yang tidak terdapat dalam tubuh tumbuhan, tetapi hanya terdapat dalam tubuh hewan.

3. Subsidi Energi

Laju produksi (produktivitas) yang tinggi baik pada ekosistem alami maupun ekosistem buatan terjadi apabila faktor-faktor fisik cocok, terlebih lagi bilamana ada subsidi energi dari luar. Subsidi energi alami dapat berupa angin, hujan, arus, dan ombak dan ini sudah barang tentu terjadi pada ekosistem alami. Angin dapat membawa oksigen, karbon dioksida (CO₂) ataupun debu-debu yang dapat dimanfaatkan sebagai unsur hara bagi tumbuhan maupun organisme lain. Hujan selain memberi air juga membawa unsur hara. Arus dan ombak maupun air pasang dapat membawa hara dari laut ke pantai serta ke daerah estuaria yang kemudian dimanfaatkan oleh organisme yang ada di tempat tersebut.

Manusia juga dapat memberikan subsidi energi pada suatu ekosistem. Sebagai contoh adalah pada ekosistem pertanian, manusia memberikan subsidi energi berupa pengolahan tanah, pemberian pupuk, irigasi, pestisida, dan lain-lain. Demikian juga halnya pada ekosistem perkebunan, tambak, dan kolam-kolam perikanan.

Dengan pemberian subsidi energi kepada ekosistem pertanian menyebabkan tanaman tidak mengeluarkan energi atau mengurangi pengeluaran energi yang digunakan untuk memperbesar sistem perakaran dalam upaya mencari unsur hara dan air, absorpsi hara dan air, serta untuk perlindungan terhadap hama, dan lain-lain. Energi yang semestinya untuk keperluan hal-hal tersebut, dapat digunakan sepenuhnya untuk pertumbuhan tanaman semaksimal mungkin (ini merupakan produksi bersih). Jadi, subsidi energi tersebut mengurangi beban pengeluaran energi yang diperuntukkan bagi pemeliharaan tubuh sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik dan cepat serta akibatnya hasil yang dapat dipanen oleh manusia juga lebih baik.

4. Produktivitas dan Hasil Panen

Perlu dipahami bahwa produktivitas biologis di sini berbeda dengan hasil produksi dari suatu pabrik dan sebagainya. Pada ekosistem pertanian apa yang biasanya kita sebut produksi sebetulnya adalah hasil panen. Pada ekosistem pertanian tidak seluruh produksi primer bersih (yang berupa tubuh tanaman) dipanen. Meskipun demikian, tetap ada hubungan yang erat antara produksi primer dengan hasil panen tanaman pertanian, yaitu hasil panen tanaman sebetulnya merupakan bagian dari produksi primer (produksi primer bersih). Seperti kita ketahui bahwa tidak semua produksi primer bersih dapat dipanen (dimanfaatkan manusia). Sebagai contoh, tanaman mangga hanya buahnya yang kita panen dan bukan seluruh pohon mangganya. Kita ketahui bahwa seluruh pohon mangga itu termasuk akarnya adalah hasil produksi primer bersih tanaman tersebut. Demikian pula halnya pada ekosistem sawah, di mana tanaman padi tidak kita panen seluruhnya, tetapi hanya gabahnya saja. Pada dasarnya alam akan berusaha untuk

memaksimalkan produksi kasar, sedangkan manusia akan memaksimalkan produksi bersih. Hal ini disebabkan manusia mempunyai tujuan akan memanen dari produksi bersih, bila produksi bersih maksimal maka panen juga dapat maksimal. Usaha ini kemudian dikembangkan lebih lanjut, misalnya padi mempunyai bulir yang lebih besar atau rumpun yang lebih banyak. Itulah sebabnya maka dalam pertanian manusia memberikan subsidi energi dalam berbagai bentuk.

Pemuliaan tanaman juga merupakan salah satu upaya manusia untuk dapat menggunakan pengetahuan tentang produksi bersih dan hasil panen. Pemuliaan tanaman menghasilkan kultivar-kultivar baru yang mempunyai sifat menguntungkan bagi manusia, misalnya kultivar baru yang tubuhnya lebih pendek, tetapi rumpunnya lebih banyak. Dengan demikian, biomasnya (ini merupakan produksi bersih) tetap atau sama dibandingkan dengan padi varietas lama, tetapi bulir padinya lebih banyak karena rumpunnya banyak. Apalagi jika umur kultivar baru tadi lebih pendek sehingga kalau dengan varietas padi lama satu tahun dua kali tanam maka dengan kultivar baru dapat dilakukan tiga atau bahkan empat kali tanam dalam setahun.

Upaya yang serupa dilakukan manusia untuk dapat memaksimalkan hasil panen dari produktivitas sekunder. Pemuliaan hewan-hewan ternak juga telah dilakukan oleh manusia, seperti hal yang dilakukan dalam peternakan, memanen susu, daging, dan telur yang semuanya merupakan bagian dari produktivitas sekunder.

Meskipun manusia telah memanfaatkan ilmu dan teknologi untuk pengembangan pertanian dan peternakan dalam upaya memenuhi kebutuhan akan makanan, tetapi sebagian besar masih menggantungkan sumber makanannya pada tanaman. Hanya penduduk Canada, Amerika Serikat, Australia, dan Selandia Baru yang secara nyata memperoleh kalori lebih banyak dari daging, susu, dan telur dibandingkan dengan penduduk negara-negara lainnya. Pada kenyataannya, penduduk di negara-negara sedang berkembang pada umumnya menggantungkan sepenuhnya pada produktivitas primer. Pada negara yang lebih maju, penggunaan hasil panen produktivitas sekunder makin besar meskipun masih tetap menggunakan

produktivitas primer. Dengan kata lain manusia menduduki tingkatan tropik II atau sebagai konsumen primer. Dengan kedudukan seperti itu manusia ternyata masih sangat tergantung kepada produktivitas primer sehingga betapa pentingnya arti produktivitas primer bagi kehidupan manusia.

5. Pengukuran Produktivitas Primer

Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa produksi primer dicapai melalui proses fotosintesis. Oleh karena itu, apabila kita dapat mengukur laju fotosintesis berarti kita dapat mengukur laju penambahan energi dalam produsen atau produktivitas primer. Sebagian besar produktivitas di alam menghasilkan protoplasma baru, demikian pula produktivitas primer. Berdasarkan reaksi fotosintesis maka persamaan produktivitas primer adalah sebagai berikut.

$$1.300.000 \text{ kal. Energi radiasi} + 106 \text{ CO}_2 + 90 \text{ H}_2\text{O} + 16 \text{ NO}_3 + 1 \text{ PO}_4 + \text{unsur-unsur mineral} = 13.000 \text{ kal. Energi potensial dalam } 3.258 \text{ gram protoplasma (106 C, 180 H, 46 O, 16 N, 1 P, 815 gram abu mineral)} + 154 \text{ O}_2 + 1.287.000 \text{ kal energi panas terpancar (99\%).}$$

Persamaan tersebut digunakan sebagai dasar dalam mengukur produktivitas primer suatu ekosistem. Terdapat beberapa cara atau metode untuk mengukur produktivitas primer yang telah diperkenalkan oleh beberapa ahli. Sekurang-kurangnya terdapat enam cara atau metode pengukuran produktivitas tersebut, antara lain adalah sebagai berikut.

a. Metode Panen

Metode ini cocok untuk suatu ekosistem pertanian. Ekosistem pertanian dimulai dari nol dan dikendalikan sedemikian rupa sehingga hewan-hewan herbivora (termasuk serangga hama) tidak begitu penting peranannya. Dengan demikian, pengambilan materi organik oleh

konsumen dapat dicegah atau diminimalkan. Pada ekosistem pertanian juga tidak pernah dicapai keadaan *steady state*. Oleh karena itu, dengan menimbang hasil panennya dan menentukan nilai kalorinya, diperoleh produktivitas primernya. Perlu dipahami pula bahwa metode panen ini merupakan produksi komunitas bersih.

b. Pengukuran Oksigen

Berdasarkan persamaan reaksi fotosintesis maka terdapat ekuivalensi yang pasti antara oksigen dan energi makanan yang dihasilkan. Bilamana kita dapat mengukur oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis maka kita dapat pula mengetahui produktivitas primernya.

Pengukuran oksigen hasil fotosintesis pada ekosistem pertanian lebih mudah dilakukan, misalnya dengan metode botol gelap dan terang. Metode ini pada dasarnya menggunakan dua macam botol, yaitu botol gelap (tak tembus cahaya) dan botol terang (tembus cahaya). Kedua macam botol tersebut diisi air dari perairan tersebut, kemudian dimasukkan ke dalam perairan tersebut selama waktu tertentu. Sebelumnya air perairan diukur kandungan oksigennya, misalnya dengan metode Winkler atau dengan alat pengukur oksigen. Selama direndam dalam perairan, dalam botol gelap tidak terjadi proses fotosintesis, tetapi terjadi respirasi, sedangkan dalam botol terang terjadi proses fotosintesis maupun respirasi. Hal ini disebabkan sinar matahari mampu menembus ke dalam botol terang sehingga fitoplankton di dalamnya mampu melakukan proses fotosintesis. Setelah rentang waktu tertentu kandungan oksigen terlarut dalam kedua botol tersebut diukur kembali. Perbedaan kandungan oksigen terlarut dalam botol gelap sebelum dan sesudah direndam dalam perairan merupakan jumlah oksigen yang digunakan untuk respirasi. Perbedaan kandungan oksigen terlarut dalam botol terang merupakan produktivitas primer bersih. Dengan demikian, dapat diketahui pula produktivitas primer

kasar dari perairan tersebut. Cara ini dapat divariasikan sedemikian rupa sehingga dapat diketahui waktu produktivitas terbesar dan kedalaman perairan dengan produktivitas terbesar.

c. *Metode Karbondioksida (CO₂)*

Seperti halnya metode botol gelap dan terang, metode CO₂ ini juga berdasarkan reaksi fotosintesis. Metode ini menggunakan pengukuran CO₂ yang digunakan untuk proses fotosintesis. Metode ini sangat cocok untuk ekosistem terestrial (daratan). Metode ini telah lama digunakan oleh para pakar fisiologi tumbuhan untuk mengukur laju fotosintesis. Biasanya untuk metode CO₂ ini diupayakan untuk dapat menutup seluruh komunitas dengan penutup yang transparan (bening). Dengan penutup yang transparan tersebut cahaya matahari masih dapat masuk sehingga fotosintesis dapat berlangsung. Kemudian, udara dialirkan ke dalam ruangan tersebut dan kandungan CO₂ dalam udara yang masuk dan ke luar diukur. Dengan demikian, dapat diketahui banyaknya CO₂ yang hilang karena digunakan untuk fotosintesis. Sekarang telah ada alat khusus untuk metode ini, dengan alat tersebut pekerjaan dapat lebih mudah dan lebih cepat dilaksanakan.

d. *Metode pH*

Metode ini cocok untuk ekosistem perairan. Dalam ekosistem perairan, pH akan berubah menurut kandungan karbon dioksida di dalamnya. Seperti diketahui kandungan karbon dioksida dapat berkurang karena fotosintesis dan karena proses respirasi.

Untuk menggunakan pH sebagai indeks produktivitas sebelumnya harus disiapkan kurva kalibrasi untuk sistem perairan yang bersangkutan. Hal ini disebabkan pH dan kandungan karbon dioksida tidak berhubungan secara linear, dan tingkat perubahan pH per perubahan kandungan

karbon dioksida sangat tergantung kepada kapasitas *buffering* dari perairan tersebut.

e. *Metode Radio Aktif*

Metode ini menggunakan peruntan radio aktif untuk menentukan produktivitas. Salah satu cara yang paling sering digunakan untuk mengukur produktivitas primer ekosistem perairan adalah menggunakan unsur C^{14} . Metode ini menggunakan botol C^{14} dalam bentuk karbonat. Absorpsi C^{14} dalam botol terang (penggunaan CO_2 untuk fotosintesis) dapat ditentukan dengan alat penghitung radio aktif. Jadi, cara ini sama seperti pada metode CO_2 , tetapi dengan menggunakan unsur radio aktif. Dalam hal ini, selain unsur C^{14} dapat pula digunakan unsur P^{32} dalam bentuk fosfat.

f. *Metode Klorofil*

Metode ini pada dasarnya menggunakan kandungan klorofil dalam komunitas sebagai indeks produktivitas. Mula-mula metode ini digunakan untuk ekosistem perairan, tetapi dalam perkembangannya juga dapat dipergunakan baik untuk ekosistem daratan maupun perairan terutama lautan. Untuk ekosistem daratan jumlah klorofil dinyatakan dalam setiap meter persegi, sedangkan untuk ekosistem perairan dinyatakan dalam satuan volume (liter).

Sekarang telah dikenal adanya alat-alat yang cukup canggih sehingga pengukuran kandungan klorofil dapat dilakukan dengan mudah. Di perairan (tawar maupun laut), hanya dengan memasukkan alat tersebut pada kedalaman tertentu maka dapat diperoleh data kadar klorofil perairan pada berbagai kedalaman.



Latihan 4

Untuk lebih memantapkan pemahaman Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 4 maka kerjakanlah latihan berikut ini.

- 1) Apa yang dimaksud dengan aras tropik?
- 2) Bandingkan berbagai piramida ekologi yang Anda kenal!
- 3) Jelaskan apa yang dimaksud dengan rantai makanan dan apa yang dimaksud dengan jaring-jaring makanan?
- 4) Apa yang dimaksud dengan efisiensi ekologi?
- 5) Aras tropik mana yang mempunyai efisiensi ekologi tertinggi?
- 6) Apa yang dimaksud dengan hal-hal berikut.
 - a. Produktivitas primer.
 - b. Produktivitas sekunder.
- 7)
 - a. Jelaskan pentingnya produktivitas primer bagi manusia!
 - b. Apakah produktivitas sekunder tidak berarti bagi manusia?
- 8) Apa tujuan subsidi energi dalam pertanian, berupa apa saja subsidi energi dalam pertanian?
- 9) Jelaskan bagaimana terbentuknya gula ataupun karbohidrat pada tumbuhan yang berfungsi sebagai produsen primer?
- 10) Jelaskan dasar pengukuran produktivitas primer pada umumnya.
- 11) Jelaskan pengukuran produktivitas primer di perairan dengan metode botol gelap dan botol terang!

Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menjawab latihan tersebut di atas, Anda dapat mempelajari kembali Kegiatan Belajar 4 tentang hal-hal berikut.

- a. Rantai makanan dan struktur tropik.
- b. Efisiensi dan piramida ekologi.
- c. Produktivitas primer.
- d. Produktivitas sekunder.
- e. Produktivitas dan hasil panen.

- f. Subsidi energi.
- g. Pengukuran produktivitas primer.



Rangkuman

Di dalam suatu ekosistem alami bentuk rantai makanan tidaklah sederhana, di mana terdapat banyak simpul rantai makanan yang satu dengan yang lainnya saling terkait atau berhubungan sehingga membentuk jaring-jaring makanan.

Organisme yang memperoleh energi melalui makanan dari tumbuhan dengan jumlah langkah yang sama dapat dimasukkan ke dalam aras tropik yang sama. Semakin tinggi posisi organisme pada aras tropiknya maka semakin tinggi pula efisiensi ekologi.

Produktivitas primer merupakan laju penambatan energi yang dilakukan oleh produsen. Produktivitas primer dibedakan atas produktivitas primer kasar (bruto) yang merupakan hasil asimilasi total, dan produktivitas primer bersih (neto) yang merupakan penyimpanan energi di dalam jaringan tubuh tumbuhan. Produktivitas primer bersih ini juga adalah produktivitas kasar dikurangi dengan energi yang digunakan untuk respirasi.

Produktivitas sekunder merupakan laju penambatan energi yang dilakukan oleh konsumen. Pada produktivitas sekunder tidak dibedakan atas produktivitas kasar dan bersih. Produktivitas sekunder pada dasarnya adalah asimilasi pada aras atau tingkatan konsumen.

Laju produktivitas akan tinggi bila mana faktor-faktor lingkungan cocok atau optimal. Pemberian bantuan energi dari luar atau subsidi energi dapat meningkatkan produktivitas. Subsidi energi banyak dilakukan oleh manusia terhadap ekosistem pertanian yang berupa: pemberian pupuk, irigasi, pengendalian hama dan pengolahan tanah. Subsidi energi juga dapat terjadi secara alami, hujan di daratan, angin, dan lain-lain.

Produktivitas atau produksi berbeda dengan hasil panen. Produksi pada pertanian sebetulnya adalah panen. Hasil panen adalah hasil bagian dari produktivitas primer bersih yang diambil atau dimanfaatkan oleh manusia. Pada dasarnya alam akan memaksimalkan produktivitas bersih sehingga manusia dapat memaksimalkan hasil panen. Manusia juga memerlukan produktivitas sekunder. Dengan produktivitas sekunder, manusia dapat memperoleh hasil panen berupa; daging, telur, atau susu.

Pengukuran produktivitas primer pada umumnya didasarkan pada reaksi fotosintesis. Beberapa metode pengukuran produktivitas primer adalah metode panen yang cocok untuk ekosistem pertanian, pengukuran oksigen, misalnya dengan botol gelap dan botol terang untuk ekosistem perairan; metode pH cocok untuk ekosistem perairan; metode klorofil untuk mengukur kadar klorofil, metode radioaktif, dan metode CO₂.



Tes Formatif 4

Pilih satu jawaban yang paling tepat dari beberapa alternatif jawaban yang disediakan!

- 1) Di dalam setiap ekosistem
 - A. selalu dijumpai adanya rantai makanan dan jaring-jaring makanan
 - B. ada aliran energi yang berawal dari kecil dan makin besar
 - C. biomassa produsen selalu lebih besar dari pada biomassa konsumen primer
 - D. hukum termodinamika belum tentu berlaku

- 2) Untuk memberikan peranan pada masing-masing komponen ekosistem maka
 - A. sangat baik apabila digunakan piramida jumlah
 - B. sebaiknya dihitung masing-masing unsur komponen ekosistem tersebut
 - C. dapat digunakan piramida energi
 - D. tidaklah tepat apabila digunakan piramida energi

- 3) Di dalam ekosistem hutan tropik basah
 - A. katak menempati aras tropik II
 - B. aras tropik belum tentu ada
 - C. aras tropik tertinggi ditempati oleh herbivora
 - D. berbagai jenis pohon yang ada menempati aras tropik I

- 4) Piramida biomassa dapat dibuat dengan menghitung
 - A. macam unsur penyusun setiap komponen biotik ekosistem
 - B. jumlah individu penyusun setiap komponen biotik ekosistem
 - C. besarnya tubuh organisme pada setiap komponen biotik ekosistem
 - D. berat kering setiap komponen biotik ekosistem

- 5) Pernyataan mengenai satuan biomassa yang benar adalah satuan
 - A. untuk biomassa adalah kalori per satuan luas
 - B. untuk energi adalah berat abu per satuan luas
 - C. biomassa digunakan besarnya tubuh organisme
 - D. biomassa dapat digunakan berat kering per satuan luas

- 6) Untuk memperoleh hasil panen yang tinggi kita memberikan subsidi energi pada ekosistem pertanian. Maksudnya adalah agar hasil panen tersebut menjadi
 - A. lebih besar dari pada produktivitas primer bersih
 - B. lebih kecil dari pada produktivitas primer bersih
 - C. sama dengan produktivitas primer bersih
 - D. sama dengan produktivitas primer kasar

- 7) Produktivitas sekunder tidak dibedakan atas produktivitas sekunder bersih dan produktivitas sekunder kasar, karena
- A. produktivitas sekunder kurang penting dibandingkan dengan produktivitas primer
 - B. masukan energi lebih besar dibandingkan dengan produktivitas primer
 - C. masukan energi berupa energi kimia, kemudian dengan satu proses menyeluruh diubah menjadi jaringan tubuh konsumen
 - D. konsumen lebih efisien dalam menangkap energi
- 8) Semakin maju suatu bangsa maka
- A. semakin tergantung kepada produktivitas primer
 - B. semakin tergantung kepada produktivitas sekunder
 - C. cenderung beralih kepada produktivitas sekunder
 - D. penggunaan (konsumsi) produktivitas sekunder meningkat
- 9) Metode panen adalah metode yang cocok untuk pengukuran produktivitas primer ekosistem pertanian karena
- A. kita memang memanfaatkan hasil panen ekosistem pertanian
 - B. konsumsi herbivora terkendali dan tak mencapai *steady state*
 - C. memanen ekosistem pertanian lebih mudah daripada ekosistem alami
 - D. produksi primer bersih selalu lebih besar dari pada hasil panen

- 10) Pada kasus produktivitas biologis diketahui bahwa
- A. alam akan selalu berusaha memaksimalkan produksi primer kasar
 - B. alam akan selalu memaksimalkan produksi primer bersih
 - C. ekosistem pertanian berusaha memaksimalkan produksi primer kasar
 - D. ekosistem pertanian maupun alam sama-sama berusaha memaksimalkan produksi primer bersih
- 11) Semua cara pengukuran produktivitas primer didasarkan kepada
- A. kandungan klorofil
 - B. berat produsen
 - C. laju fotosintesis
 - D. laju respirasi
- 12) Kalau kita mencabut semua tumbuhan pada suatu hutan, kemudian menimbang berat keringnya, berarti kita mengukur produksi
- A. komunitas bersih
 - B. primer kasar
 - C. sekunder
 - D. komunitas kasar
- 13) Dipandang dari tingkat kemampuan konsumen untuk mengubah (memanfaatkan) energi yang dikonsumsi maka dapat dinyatakan bahwa
- A. serangga lebih efisien dalam mengubah energi menjadi materi dibandingkan dengan mamalia
 - B. invertebrata lebih efisien dalam asimilasi makanan dibandingkan dengan mamalia
 - C. tikus lebih efisien dalam mengubah energi menjadi materi dibandingkan dengan cacing tanah
 - D. ulat sutera lebih efisien dalam asimilasi makanan dibandingkan dengan ikan oscar

- 14) Pada peristiwa subsidi energi maka subsidi
- A. energi alami hanya akan terjadi pada ekosistem alami
 - B. energi alami dan buatan dapat terjadi pada ekosistem perkebunan
 - C. energi alami dan buatan terdapat di lautan
 - D. buatan dapat terjadi di hutan tropika humida
- 15) Subsidi energi buatan, antara lain berupa
- A. erosi
 - B. evapotranspirasi
 - C. irigasi
 - D. arus

Setelah mengerjakan Tes Formatif 4 di atas, cocokkan jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 4 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar, kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 4.

Rumus:

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban Anda yang benar}}{15} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai:

90% - 100% = baik sekali

80% - 89% = baik

70% - 79% = cukup

< 70% = kurang

Bila tingkat penguasaan Anda mencapai 80% ke atas. **Bagus!** Anda cukup memahami materi Kegiatan Belajar 4. Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. Tetapi bila tingkat penguasaan masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi Kegiatan Belajar 4, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) C
- 2) D
- 3) C
- 4) B
- 5) C
- 6) A
- 7) D
- 8) A

Tes Formatif 2

- 1) A
- 2) B
- 3) A
- 4) D
- 5) A
- 6) B
- 7) C
- 8) B
- 9) D
- 10) C

Tes Formatif 3

- 1) B
- 2) B
- 3) A
- 4) B
- 5) B
- 6) D
- 7) A
- 8) C
- 9) D
- 10) B

Tes Formatif 4

- 1) A
- 2) C
- 3) D
- 4) D
- 5) D
- 6) B
- 7) C
- 8) D
- 9) B
- 10) A
- 11) C
- 12) A
- 13) A
- 14) B
- 15) C

Daftar Pustaka

- Begon**, M., J.L. Harper & C.R. Townsend. (1986). *Ecology. Individuals, Populations and Communities*. Blackwell Sci. Pub. Oxford.
- Boughey**, A. S., (1968). *Ecology of Populations*. New York: The Macmillan Company.
- Clapham**, W.B. (1973). *Natural Ecosystem*. McMillan Publishing Co., Inc. New York.
- Cole**, L. C., (1970). *Playing Russian Roulette with Biochemical Cycles*. New Haven Yale University Press.
- Chang**, J.H., (1968). *Climate and Agriculture: An Ecological Survey*. Chicago. Aldine Publishing Co.
- Dasmann**, R. F., (1968). *Environmental Conservation*. 2nd Ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- DeSimone** and Popoff. (2000). *Ecoefficiency, The Business Link to Sustainable Development*. Cambridge: The MIT Press Cambridge.
- Hardjojo**, dkk. (1996). *Pengetahuan Dasar Ilmu Lingkungan*. Jakarta: Universitas Terbuka.

- Kantor MNLH**, (1998). *Dasar Karya Pengelolaan Lingkungan Hidup, Kebijakan dan Strategi Basional Pengelolaan Lingkungan Hidup, Dalam Pembangunan Jangka Panjang Kedua*. Penerbit Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Kormondy**, E.J. (1969). *Concepts of Ecology*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Odum**, E.P. (1968). *Energy Flow in Ecosystems: A Historical Review*. W.B. Saunders Co. Philadelphia.
- Odum**, E.P. (1971). *Fundamentals of Ecology*. 3rd ed. Philadelphia: W.B. Saunders Co.
- Miller**, D. H., (1965). *The Heat and Water Budget of the Earth's Surface*. Adv. in Geophysics, 11, 175-302.
- Smith**, R.L. (1974). *Ecology and Field Biology*, 2nd ed. New York: Harper & Row, Pub.
- Suyud** dan Subagja, (2001). *Ekologi*. Buku materi Pokok. Pusat Penerbitan Universitas Terbuka.