

B a b IX

Ekosistem



Dok. PIM

Bayangkan kalian sedang duduk di tepi sawah, memandang hamparan nan luas dengan padi yang mulai tumbuh. Betapa indah pemandangan itu. Air yang melimpah memudahkan petani yang sedang bekerja. Di dekatnya, diantara tanaman padi, terdapat berbagai jenis hewan seperti katak, ular, ikan, belalang, burung, dan sebagainya. Terdapat pula berbagai jenis rumput dan tumbuhan lain yang seringkali dianggap sebagai gulma. Sawah, air, tumbuhan, hewan, dan komponen-komponen lain yang ada disana adalah pembentuk ekosistem. Semuanya berinteraksi dan masing-masing mempunyai peran yang spesifik. Begitulah gambaran sebuah ekosistem sawah. Menurut kalian apakah ekosistem itu? Mengapa begitu penting untuk kalian pelajari? Mari kita simak pembahasan berikut.

KATAKUNCI

- Ekosistem
- Biotik
- Abiotik
- Organik
- Anorganik
- Trofik
- Unsur
- Senyawa

KILAS

Pada bab Biologi dan Peranannya dalam kehidupan, ekosistem dibicarakan sebagai bagian dari tingkat organisasi kehidupan. Begitu pula, di dalam bab Keanekaragaman Hayati telah dibicarakan bahwa ekosistem merupakan bagian dari keanekaragaman hayati.

GALERI

Ekologi

Ekosistem dipelajari lebih mendalam dalam cabang biologi yang disebut Ekologi. Ekologi berasal dari kata Yunani *oikos* (tempat untuk berdiam atau rumah) dan *logos* (ilmu). Ekologi adalah ilmu yang mempelajari interaksi antar-komponen ekosistem (biotik dan abiotik) yang mempengaruhi distribusi dan kelimpahan organisme.

Dalam pembahasan berikut kalian akan mempelajari berbagai komponen penyusun ekosistem, interaksi antarkomponen ekosistem, serta mengkaji mekanisme aliran energi pada suatu ekosistem. Selain membahas aliran energi, kalian juga akan mempelajari daur biogeokimia.

Setelah mempelajari bab ini kalian diharapkan dapat menjelaskan komponen-komponen ekosistem dan interaksi yang terjadi di dalamnya, menjelaskan faktor-faktor pendukung terjadinya keseimbangan ekosistem, serta menganalisis jika terjadi ketidakseimbangan hubungan antar komponen (karena faktor alami dan akibat perbuatan manusia). Selain itu, kalian juga diharapkan dapat menjelaskan mekanisme aliran energi pada suatu ekosistem, membuat charta daur biogeokimia, seperti air, karbon, nitrogen, sulfur, posfor, serta menjelaskan peran mikroorganisme atau organisme dalam berbagai daur tersebut.

A. Komponen Ekosistem

Semua jenis makhluk hidup di alam ini selalu berinteraksi dengan lingkungannya, baik dengan lingkungan fisik maupun dengan makhluk hidup yang lain. Tumbuhan membutuhkan tanah, udara, dan air untuk dapat hidup dan berfotosintesis. Hewan membutuhkan tumbuhan atau hewan lain sebagai makanannya. Selain itu hewan juga membutuhkan udara untuk bernapas dan air untuk minum.

Ketika jumlah tumbuhan berkurang, hewan pemakan tumbuhan akan kelaparan. Begitu pula, hewan-hewan yang menjadikan tumbuhan sebagai tempat tinggal akan kehilangan rumahnya. Ketika jumlah air berkurang, tumbuhan dan hewan mungkin akan mati karena kekeringan. Berbagai interaksi tersebut merupakan hubungan saling mempengaruhi yang terjadi antara makhluk hidup dengan lingkungannya dan membentuk suatu sistem yang disebut **ekosistem**. Ekosistem disusun oleh dua komponen, yaitu lingkungan fisik atau makhluk tidak hidup (**komponen abiotik**) dan berbagai jenis makhluk hidup (**komponen biotik**). Berbagai jenis makhluk hidup tersebut dapat dikelompokkan menjadi satuan-satuan makhluk hidup dan ekosistem merupakan salah satunya.

1. Komponen Abiotik

Komponen abiotik merupakan komponen penyusun ekosistem yang terdiri dari benda-benda tak hidup. Secara terperinci, komponen abiotik merupakan keadaan fisik dan kimia di sekitar organisme yang menjadi medium dan substrat untuk menunjang berlangsungnya kehidupan organisme tersebut. Contoh komponen abiotik adalah air, udara, cahaya matahari, tanah, topografi, dan iklim.

Hampir semua makhluk hidup membutuhkan **air**. Karena itu, air merupakan komponen yang sangat vital bagi kehidupan. Sebagian besar tubuh makhluk hidup tersusun oleh air dan tidak ada satupun

makhluk hidup yang tidak membutuhkan air. Meskipun demikian, kebutuhan organisme akan air tidaklah sama antara satu dengan yang lainnya. Begitu pula dengan ketersediaan air di suatu daerah, tidak sama antara daerah satu dengan yang lainnya. Hal ini juga akan mempengaruhi cara hidup organisme yang ada di daerah-daerah tersebut. Misalnya hewan yang hidup di daerah gurun akan memiliki kapasitas penggunaan air yang relatif sedikit sebagai penyesuaian terhadap lingkungan hidupnya yang miskin air. Berbagai jenis tumbuhan yang ada juga beradaptasi dengan keadaan tersebut, salah satunya dengan membentuk daun yang tebal dan sempit sehingga mengurangi penguapan. Contohnya adalah tumbuhan kaktus (Gambar 9.1).

Komponen abiotik lainnya adalah **udara**. Kita tidak bisa menyangkal bahwa peranan udara sangat penting bagi kehidupan di bumi ini. Oksigen yang kita gunakan untuk bernapas atau CO₂ yang diperlukan tumbuhan untuk berfotosintesis juga berasal dari udara. Bahkan bumi kita pun dilindungi oleh atmosfer yang merupakan lapisan-lapisan udara.

Keadaan udara di suatu tempat dipengaruhi oleh **cahaya matahari**, kelembaban, dan juga temperatur (suhu). Intensitas cahaya matahari yang diterima oleh suatu daerah akan mempengaruhi kelembaban atau kadar uap air di udara. Selain itu, cahaya matahari juga menyebabkan peningkatan suhu atau temperatur udara. Adanya perbedaan temperatur menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan udara, sehingga udara mengalir atau bergerak membentuk angin. Kesemuanya memberikan pengaruh bagi organisme.

Cahaya matahari merupakan sumber energi utama semua makhluk hidup, karena dengannya tumbuhan dapat berfotosintesis. Sedangkan keberadaan uap air di udara akan mempengaruhi kecepatan penguapan air dari permukaan tubuh organisme. Organisme yang hidup di daerah panas (suhu udara tinggi dan kelembaban rendah) akan berupaya untuk mengurangi penguapan air dari dalam tubuh, misalnya onta yang merupakan hewan khas padang pasir. Sedangkan beruang kutub, karena hidup di lingkungan yang sangat dingin, beradaptasi dengan memiliki bulu yang tebal. Perhatikan Gambar 9.2 dan 9.3. Selain itu, perbedaan suhu udara juga bisa menimbulkan angin, yaitu aliran udara akibat perbedaan tekanan. Sehingga organisme akan menyesuaikan diri dengan kondisi tersebut. Contohnya pada tumbuhan. Tumbuhan yang hidup di daerah dengan angin yang kencang, daerah pantai misalnya, membentuk sistem perakaran yang kuat dan batang yang elastis supaya tidak mudah patah ketika diterpa angin. Contohnya jenis tumbuhan tersebut adalah cemara udang.

Selain air, udara, dan cahaya matahari, keberadaan suatu ekosistem juga dipengaruhi oleh kondisi **tanah**. Apa yang akan terjadi bila bumi kita ini hanya berisi batu dan logam, tanpa ada tanah? Tentu kita tidak akan menjumpai berbagai jenis tumbuhan dan organisme lainnya. Tanah merupakan tempat hidup bagi berbagai jenis organisme, terutama



50,000 Photo Art

Gambar 9.1 Kaktus merupakan tumbuhan yang hidup di daerah kering



50,000 Photo Art

Gambar 9.2 Onta mempunyai kulit tebal dan sedikit pori untuk mengurangi penguapan



Microsoft Encarta Premium, 2006

Gambar 9.3 Beruang kutub memiliki bulu yang tebal untuk menghangatkan badan

tumbuhan. Adanya tumbuhan akan menjadikan suatu daerah memiliki berbagai organisme pemakan tumbuhan dan organisme lain yang memakan pemakan tumbuhan tersebut. Coba kalian bandingkan tanah yang subur dengan tanah yang tandus. Di tanah yang manakah lebih banyak terdapat organisme? Tentu di tanah yang subur, bukan? Kualitas tanah bisa dilihat dari derajat keasaman (pH), tekstur (komposisi partikel tanah), dan kandungan garam mineral atau unsur haranya.

Komponen abiotik yang juga tidak kalah penting adalah topografi dan iklim. **Topografi** adalah letak suatu tempat dipandang dari ketinggian di atas permukaan air laut (*altitude*) atau dipandang dari garis bujur dan garis lintang (*latitude*). Topografi yang berbeda menyebabkan perbedaan penerimaan intensitas cahaya, kelembaban, tekanan udara, dan

suhu udara, sehingga topografi dapat menggambarkan distribusi makhluk hidup. Sedangkan **iklim** merupakan keadaan cuaca rata-rata di suatu tempat yang luas dalam waktu yang lama (30 tahun), terbentuk oleh interaksi berbagai komponen abiotik seperti kelembaban udara, suhu, curah hujan, cahaya matahari, dan lain sebagainya. Iklim mempunyai hubungan yang erat dengan komunitas tumbuhan dan kesuburan tanah. Contohnya adalah di daerah yang beriklim tropis, seperti Indonesia, memiliki hutan yang lebat dan kaya akan keanekaragaman hayati yang disebut hutan hujan tropis (Gambar 9.4) sedangkan di daerah subtropis hutan seperti itu tidak dijumpai.



Gambar 9.4 Hutan hujan tropis yang kaya akan keanekaragaman hayati

2. Komponen Biotik

Komponen biotik meliputi semua jenis makhluk hidup yang ada pada suatu ekosistem. Contoh komponen biotik adalah manusia, hewan, tumbuhan, dan mikroorganisme. Menurut peranannya dalam ekosistem, komponen biotik dibedakan menjadi tiga golongan, yaitu produsen, konsumen, dan pengurai. Organisme yang berperan sebagai **produsen** adalah semua organisme yang dapat membuat makanan sendiri. Organisme ini disebut organisme autotrof, contohnya adalah tumbuhan hijau (Gambar 9.5). Sedangkan organisme yang tidak mampu membuat makanan sendiri (heterotrof) berperan sebagai **konsumen**.

Tumbuhan merupakan organisme autotrof karena dapat membuat makanan sendiri melalui **fotosintesis**. Dalam proses ini, bahan anorganik diubah menjadi senyawa organik dengan bantuan sinar matahari. Melalui proses fotosintesis, gas CO₂ hasil buangan organisme lain diubah oleh tumbuhan menjadi zat gula, oksigen, dan energi, sesuai dengan reaksi berikut.



Gambar 9.5 Tumbuhan hijau berperan sebagai produsen

Selain mampu mencukupi kebutuhannya akan energi, produsen juga berperan sebagai sumber energi bagi organisme lain. Energi yang dihasilkan produsen akan dimanfaatkan oleh organisme lain melalui proses makan dan dimakan. Hewan pemakan tumbuhan memperoleh energi dari tumbuhan yang dimakannya. Sedangkan hewan pemakan tumbuhan tersebut juga bisa dijadikan sumber energi bagi hewan lain yang memakannya. Organisme yang memperoleh makanan dengan cara demikian disebut konsumen. Jadi, organisme yang berperan sebagai konsumen adalah organisme yang tidak dapat membuat makanan sendiri (organisme heterotrof).

Berdasarkan jenis makanan yang dikonsumsi, konsumen dibedakan menjadi tiga macam yaitu herbivora, karnivora, dan omnivora. **Herbivora** adalah organisme pemakan tumbuhan. Contohnya adalah kerbau, sapi, kambing, kelinci, dan zebra (Gambar 9.6). **Karnivora** adalah organisme pemakan hewan (daging). Misalnya singa, serigala, harimau, kucing, dan elang (Gambar 9.7). Sedangkan **omnivora** adalah organisme pemakan segala jenis makanan, baik tumbuhan maupun hewan. Contoh omnivora adalah ayam, itik, dan manusia (Gambar 9.8).



Gambar 9.6 Sapi dan kerbau merupakan hewan herbivora



Gambar 9.7 Contoh hewan karnivora



Gambar 9.8 Manusia termasuk omnivora

Selain produsen dan konsumen, terdapat pula organisme yang berperan sebagai pengurai. Pernahkah kalian berpikir bagaimana tumbuhan dan hewan yang mati di suatu tempat dapat hilang setelah beberapa waktu kemudian? Hilangnya tumbuhan dan hewan yang telah mati ini disebabkan oleh aktivitas **organisme pengurai** atau **dekomposer**. Mereka berperan menguraikan (melakukan dekomposisi) sisa-sisa organisme yang sudah mati (detritus). Karena memakan detritus, organisme ini disebut juga **detritivora**.

Organisme pengurai memperoleh makanan dengan cara merombak sisa produk organisme dan organisme yang mati dengan enzim pencernaan yang dimilikinya. Hasil perombakan ini kemudian diserap sebagai makanan. Kegiatan pengurai memungkinkan senyawa sederhana didaur ulang, sehingga dapat digunakan kembali oleh organisme autotrof atau produsen. Contoh organisme yang termasuk pengurai adalah cacing tanah, jamur, dan bakteri, lipan, luing, kutu kayu, rayap, nematoda, dan larva serangga. Perhatikan Gambar 9.9.



Gambar 9.9 Contoh organisme pengurai

Nah, sekarang kalian sudah mengenal berbagai komponen ekosistem. Untuk menambah pengetahuan kalian, kerjakan kegiatan dalam rubrik *Telisik* berikut.

TELISIK

Buatlah kelompok yang terdiri dari tiga orang. Kujungilah kebun atau lapangan yang ada di sekitar sekolah kalian. Buatlah sebuah kotak persegi berukuran 1,5 m × 1,5 m dengan menggunakan tali. Amati komponen-komponen biotik dan abiotik yang ada dalam kotak tersebut. Isikan hasil pengamatan kalian pada sebuah tabel. Berikut contoh tabelnya.

Komponen Penyusun Ekosistem

No.	Jenis makhluk hidup (komponen biotik)	Jumlah	Jenis makhluk tak hidup (komponen abiotik)	Jumlah
1.
2.
3.
4.
5.
dst.

Berdasarkan data pengamatan kalian, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Komponen biotik apakah yang kalian temukan?
2. Komponen abiotik apakah yang kalian temukan?
3. Apakah perbedaan antara komponen biotik dan abiotik?
4. Buat laporan hasil pengamatan kalian dan presentasikan di depan kelas.

c. Satuan-Satuan Makhluk hidup

Ketika kalian mengamati komponen-komponen pembentuk ekosistem, kalian mendapatkan beberapa komponen biotik yang sejenis. Misalnya dalam kebun berukuran 3m×7m terdapat tiga jenis pohon, yaitu dua pohon akasia, tiga pohon kelapa, dan tiga pohon jati. Kalian juga menemukan sekelompok semut dan sekelompok burung. Nah, sebatang pohon, seekor semut, dan seekor burung tersebut merupakan individu (Gambar 9.10). Sedangkan dua pohon akasia, tiga pohon kelapa, tiga pohon jati, sekelompok semut, dan sekelompok burung merupakan populasi (Gambar 9.11).

Individu berasal dari bahasa Latinu *in* (tidak) dan *dividus* (dapat dibagi). Jadi, **individu** diartikan sebagai satu organisme hidup yang berdiri sendiri dan secara fisiologis bersifat bebas serta tidak mempunyai hubungan organik dengan sesamanya. Populasi juga berasal dari bahasa Latin, yaitu *populus* (semua yang bertempat tinggal pada suatu tempat). Sehingga pengertian **populasi** adalah sekelompok individu sejenis (satu spesies) yang menempati suatu daerah pada waktu tertentu. Makhluk hidup dikatakan sejenis apabila mempunyai persamaan bentuk tubuh, dapat melakukan perkawinan, dan mampu menghasilkan keturunan yang fertil.



Dok. PIM

Gambar 9.10 Satu ekor ayam disebut individu



Dok. PIM

Gambar 9.11 Sekelompok ayam disebut populasi

Besarnya populasi dapat dinyatakan sebagai **densitas** atau **kerapatan**, yaitu jumlah individu anggota populasi di suatu luasan tertentu. Perhatikan persamaan berikut.

$$\text{densitas} = \frac{\text{jumlah individu}}{\text{luas daerah}}$$

Densitas populasi pada suatu daerah dapat berubah setiap saat, tergantung beberapa faktor, seperti emigrasi, migrasi, natalitas, dan mortalitas.

Untuk mengetahui cara menentukan besarnya populasi, diskusikan kasus di bawah ini.

DISKUSI

Pada suatu padang rumput terdapat dua populasi kijang. Di daerah A terdapat 3.000 ekor kijang dan luas daerah tersebut adalah 2 km². Sedangkan di daerah B yang memiliki luas 3 km² terdapat kijang sebanyak 1.500 ekor kijang. Selama 1 tahun, 150 ekor kijang beremigrasi ke daerah B, terjadi kelahiran sebanyak 200 ekor, dan terjadi kematian sebanyak 75 ekor. Sedangkan di daerah B 50 ekor kijang beremigrasi ke daerah A, terjadi kelahiran 100 ekor, dan kematian sebanyak 25 ekor. Berapa kerapatan populasi kijang di daerah A dan B mula-mula? Berapa populasi kijang di daerah A dan B setelah kurun waktu 1 tahun? Presentasikan hasil diskusi kalian di depan kelas.

Di alam, populasi makhluk hidup saling berinteraksi satu sama lain. Kumpulan beberapa populasi tersebut adalah **komunitas**. Perhatikan Gambar 9.12. Contohnya adalah komunitas padang rumput. Komunitas tersebut disusun oleh berbagai populasi rumput, populasi kijang, dan populasi harimau. Kata komunitas berasal dari Bahasa Latin *commune* (umum). Kesatuan komunitas dengan lingkungan hidupnya yang saling berinteraksi dengan faktor lingkungan disebut **ekosistem**.



15,000 Educational Images

Gambar 9.12 Suatu komunitas disusun oleh beberapa populasi

GALERI

Habitat dan Nisia

Di dalam habitatnya, setiap individu atau populasi mempunyai peranan tertentu (produsen, konsumen, dan pengurai (dekomposer). Dua atau lebih jenis makhluk hidup dapat mempunyai peran yang sama. Contohnya adalah berbagai jenis tumbuhan yang hidup di hutan. Untuk memenuhi kebutuhannya akan unsur hara, air, dan cahaya matahari, berbagai jenis tumbuhan yang berukuran kecil hidup menempel pada pepohonan. Ada yang hidup sebagai epifit di pangkal pohon, batang, dan bagian kanopi, serta ada pula yang hidup sebagai parasit. Habitat yang spesifik tersebut dikenal dengan **nisia** atau **relung ekologi** (*ecological niche*).

Kumpulan dari berbagai komunitas pada suatu zona habitat disebut **bioma**. Bioma di bumi bisa dikelompokkan menjadi bioma darat (terestrial) dan bioma perairan (akuatik). Bioma terestrial terjadi karena daratan memiliki variasi geografis seperti ketinggian di atas permukaan laut dan garis lintang. Di daratan terdapat 6 bioma yaitu bioma gurun, bioma padang rumput, bioma hutan hujan tropis, bioma hutan 4 musim, bioma taiga, dan bioma tundra. Contoh bioma yang ada di Indonesia adalah hutan hujan tropis.

Kesemua bioma yang ada di bumi atau semua zona kehidupan di bumi disebut **biosfer** (lapisan kehidupan). Biosfer meliputi semua lapisan kehidupan, dari dasar laut yang dalam sampai lapisan udara di mana masih terdapat kehidupan. Biosfer merupakan kumpulan semua komunitas dan ekosistem yang ada di planet bumi, meliputi semua bagian dari lapisan bumi paling atas, yaitu air, kulit bumi, dan atmosfer.

Menarik bukan apa yang telah kalian pelajari tentang satuan-satuan makhluk hidup? Untuk menindaklanjuti ketertarikan tersebut, coba kalian kerjakan kegiatan berikut.

TELISIK

Bioma merupakan kumpulan beberapa tipe ekosistem. Beberapa contoh bioma darat telah kita bicarakan. Nah, untuk melengkapi pemahaman kalian, carilah informasi yang lebih lengkap mengenai bioma, baik bioma terestrial maupun akuatik. Cari pula informasi mengenai berbagai tipe ekosistem yang ada di dalamnya. Presentasikan hasilnya di depan kelas.

Untuk mengetahui sejauh mana penguasaan kalian tentang komponen ekosistem, jawablah soal-soal dalam *Uji Kompetensi* berikut.

UJI KOMPETENSI

Jawablah soal-soal berikut dengan tepat.

- Sebutkan dan jelaskan pengertian ekosistem serta faktor-faktor yang mempengaruhi keadaan ekosistem di suatu daerah.
- Seorang siswa melakukan pendataan mengenai keadaan kebun sekolah dengan mengambil sampel berukuran 1m^2 . Data yang diperolehnya adalah sebagai berikut.

a. pohon kelapa	i. daun kelapa
b. rumput	j. tanah
c. batu kerikil	k. semut
d. pasir	l. lalat
e. suhu udara 25°C	m. kelembaban 20%

- | | |
|-------------------|----------|
| f. sinar matahari | n. angin |
| g. cacing tanah | o. embun |
| h. capung | |

Kelompokkan data-data tersebut menjadi komponen abiotik dan komponen biotik.

- Sebut dan berikan contoh pengelompokan organisme berdasarkan makanan yang dikonsumsi.
- Jelaskan pengertian individu, populasi, komunitas, ekosistem, bioma, dan biosfer. Lengkapi masing-masing dengan contoh.
- Apakah perbedaan antara komunitas dan ekosistem? Jelaskan.

Kalian telah memahami pengertian ekosistem dan komponen-komponen penyusunnya. Komponen-komponen tersebut saling berinteraksi membentuk hubungan yang dinamis. Hubungan dinamis di antara komponen tersebut menyebabkan terjadinya keseimbangan lingkungan. Mari kita pelajari bersama.

B. Hubungan Antar-komponen Ekosistem

Di dalam ekosistem, komponen-komponen biotik dan abiotik saling berinteraksi dan masing-masing memiliki fungsi atau peran tertentu. Hubungan tersebut bisa berupa hubungan antar-komponen biotik (makhluk hidup) maupun hubungan semua komponen antara komponen biotik dan abiotik secara menyeluruh. Di dalam hubungan antarorganisme terdapat **aliran energi**, yaitu transfer energi dari produsen ke konsumen melalui rantai makanan. Sedangkan hubungan komponen biotik dan komponen abiotik adalah bagian dari **siklus kimia**, yaitu siklus unsur-unsur kimia penyusun makhluk hidup dan makhluk tak hidup. Kedua proses tersebut, aliran energi dan siklus kimia, merupakan **fenomena** yang tidak dapat dijelaskan pada tingkatan organisasi kehidupan di bawah ekosistem. Karenanya ekosistem merupakan tingkatan yang paling **inklusif** dalam organisasi kehidupan.

1. Aliran Energi di Dalam Ekosistem

Energi memasuki sebagian besar ekosistem dalam bentuk cahaya matahari yang kemudian diubah oleh organisme autotrof menjadi energi kimia. Energi tersebut kemudian diteruskan ke organisme heterotrof dalam bentuk senyawa-senyawa organik. Proses ini terjadi melalui peristiwa **makan dan dimakan** yang terjadi di dalam rantai makanan.

a. Pola-Pola Interaksi

Untuk memenuhi kebutuhannya akan makanan, setiap organisme melakukan interaksi tertentu dengan organisme lain. Pola-pola interaksi yang terjadi dapat berupa persaingan (kompetisi), pemangsaan (predasi), dan kerjasama (simbiosis).

Persaingan atau **kompetisi** terjadi di antara beberapa organisme yang membutuhkan bahan makanan yang sama. Kebutuhan untuk memperoleh sumber makanan atau nutrien sebanyak-banyaknya menyebabkan terjadinya persaingan pada suatu komunitas. Kompetisi merupakan satu pola interaksi yang menyebabkan kerugian bagi salah satu pihak yang kalah bersaing. Contoh kompetisi adalah persaingan antarprodusen (berbagai jenis tumbuhan) untuk memperoleh air, sinar matahari, atau bahan organik lainnya. Pada tingkat di atasnya yaitu konsumen primer (konsumen yang mengonsumsi produsen secara langsung), juga terjadi persaingan yaitu dalam mendapatkan tumbuhan. Selain antarprodusen dan antarkonsumen primer, antarkonsumen sekunder bahkan sampai pengurai atau detritivorpun juga melakukan kompetisi. Kompetisi bisa terjadi antara individu satu dengan individu



Gambar 9.13 Kompetisi yang terjadi antara tanaman padi dan rumput liar

www.museum.kyushu-u.ac.jp



Gambar 9.14 Predasi yang terjadi antara singa dan mangsanya

Microsoft Encarta Premium, 2006



Gambar 9.15 Contoh simbiosis mutualisme.

Microsoft Encarta Premium, 2006



Gambar 9.16 Ikan hiu dan remora, contoh simbiosis komensalisme

Kimball, 1983, hlm. 1033

lainnya dalam satu populasi. Kompetisi seperti ini disebut **kompetisi interspesifik**. Selain itu, kompetisi ini juga dapat terjadi antara satu jenis populasi dengan jenis populasi lainnya dalam satu komunitas, disebut **kompetisi intraspesifik**. Tanaman padi dan rumput, misalnya, karena sama-sama membutuhkan makanan berupa unsur hara, maka mereka akan bersaing untuk hidup di sebuah sawah. Akibatnya, rumput liar yang hidup di areal pertanian padi oleh manusia dianggap sebagai gulma (tanaman pengganggu). Perhatikan Gambar 9.13.

Selain melakukan persaingan, beberapa organisme mendapatkan makanan dengan memangsa organisme lain. Contohnya adalah singa yang memakan kijang atau rusa (Gambar 9.14). Pola interaksi semacam ini disebut **predasi**. Organisme yang memakan organisme lain disebut **predator** atau **pemangsa**, sedangkan organisme yang dimakan disebut **prey** atau **mangsa**. Pada suatu ekosistem, hewan herbivora (misalnya sapi, kerbau, belalang, atau ulat) merupakan predator bagi produsen. Hewan karnivora (harimau, singa, atau anjing) atau binatang lain yang memangsa herbivora juga merupakan predator.

Beberapa makhluk hidup dapat hidup berdampingan tanpa melakukan kompetisi atau predasi. Pola interaksi seperti ini disebut **simbiosis**, dan organisme yang melakukannya disebut **simbion**. Pernahkah kalian memperhatikan tanaman anggrek yang tumbuh di sebuah pohon? Itu adalah salah satu contoh simbiosis. Simbiosis antara dua jenis makhluk hidup dibedakan menjadi tiga macam, yaitu simbiosis mutualisme, komensalisme, dan parasitisme.

Simbiosis mutualisme adalah hubungan simbiosis yang saling menguntungkan. Contohnya adalah pada simbiosis antara *red-billed oxpeckers* (sejenis burung jalak) dan impala (sejenis rusa). Perhatikan Gambar 9.15. Burung tersebut memperoleh keuntungan dengan memakan kutu yang ada di tubuh impala. Sebaliknya, impala juga memperoleh keuntungan karena kutu ditubuhnya menjadi bersih.

Berbeda dengan simbiosis mutualisme, pada **simbiosis komensalisme** tidak semua simbion memperoleh keuntungan. Simbiosis ini hanya menguntungkan salah satu simbion, tetapi simbion yang lainnya tidak merasa dirugikan. Contoh bentuk simbiosis ini adalah yang terjadi antara ikan remora dengan ikan hiu. Dengan hidup bersama ikan hiu, ikan remora akan terlindungi dari pemangsa dan juga mendapatkan makanan dari serpihan-serpihan kulit hiu. Sedangkan ikan hiu sendiri tidak merasa dirugikan dengan kehadiran ikan remora. Perhatikan gambar 9.16.

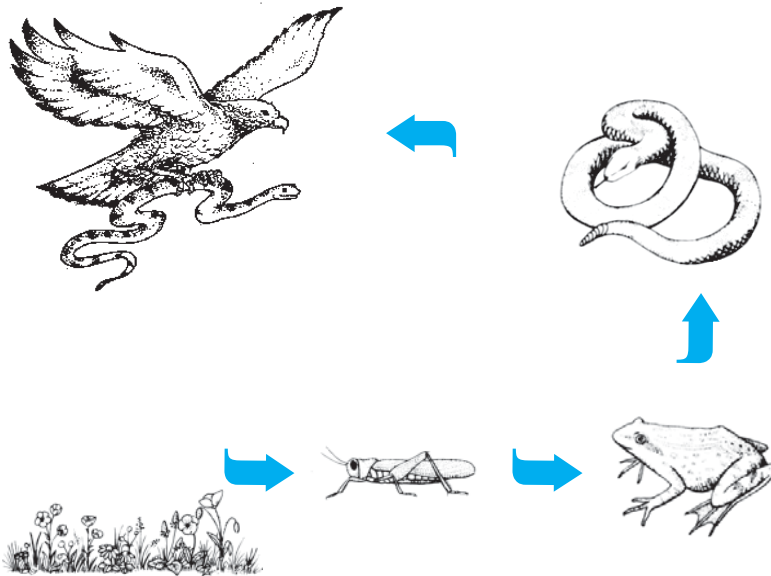
Sedangkan simbiosis yang terjadi antara benalu dan pohon yang ditumpanginya merupakan contoh **simbiosis parasitisme**. Perhatikan gambar 9.17. Benalu mendapatkan makanan dengan menyerap air dan garam mineral atau hasil fotosintesis pohon yang ditumpanginya. Dengan demikian, pohon merupakan simbion yang dirugikan, sedangkan benalu merupakan simbion yang mendapatkan keuntungan. Contoh lainnya adalah simbiosis antara kutu anjing dengan anjing, dan jamur yang hidup pada udang. Organisme yang hidup menempel dan mengambil makanan dari organisme yang ditempelinya disebut **parasit**, sedangkan organisme yang menjadi tempat hidup parasit disebut **inang** atau **hospes**.



Gambar 9.17 Benalu bersifat parasit pada pohon inangnya.

b. Rantai Makanan dan Piramida Ekologi

Proses makan dan dimakan yang diikuti perpindahan energi dari satu organisme ke organisme lain dalam tingkatan tertentu disebut **rantai makanan** (*food chain*). Perhatikan gambar 9.18. Tingkatan dalam rantai makanan disebut juga **trofik**. Tingkat trofik yang secara mendasar mendukung tingkatan lainnya dalam suatu ekosistem terdiri dari organisme autotrof yang berperan sebagai **produsen primer**. Produsen primer meliputi tumbuhan, alga, dan banyak spesies bakteri.



Gambar 9.18 Contoh rantai makanan

Produsen primer utama pada sebagian besar ekosistem terestrial adalah tumbuhan. Sedangkan di dalam **zona limnetik** danau dan dalam lautan terbuka, fitoplankton (alga dan bakteri) adalah autotrof

GALERI

Tumbuhan Epifit

Tumbuhan yang hidup menumpang pada tumbuhan lain disebut epifit. Tumbuhan yang hidup menumpang pada tanaman inang ini bisa disebut tidak bersifat parasit karena mereka mampu berfotosintesis sendiri. Sedangkan tumbuhan inang hanya dijadikan sebagai tempat hidup (substrat). Contoh tumbuhan epifit adalah berbagai jenis lumut dan anggrek yang hidup di pepohonan.

GALERI

Komunitas Khusus di Dasar Laut

The Black smokers atau celah air panas di bagian dasar laut dalam merupakan komunitas yang unik. Salah satu pengecualian khusus dalam komunitas ini adalah dalam hal produsen dalam rantai makanannya. Bakteri kemoautotrof yang mendapatkan energi dari oksidasi hidrogen sulfida (H_2S) merupakan produsen utama dalam ekosistem ini. Berbeda dengan produsen yang umumnya didukung oleh energi cahaya matahari, produsen dalam ekosistem ini mendapat dukungan energi berupa energi kimia. Namun demikian, karena bakteri tersebut memerlukan oksigen untuk mengoksidasi hidrogen sulfida, maka ekosistem celah air panas secara total tidak bergantung pada energi kimia saja. Hal ini disebabkan oleh kenyataannya bahwa oksigen hanya dapat diperoleh dari fotosintesis.

Campbell, Reece, Mitchell, 2004, hlm. 390-391

yang paling penting, sementara alga multiseluler dan tumbuhan akuatik kadang-kadang merupakan produsen primer yang lebih penting di **zona litoral** dalam ekosistem air tawar maupun air laut. Akan tetapi di dalam **zona afotik** di laut dalam, sebagian besar kehidupan bergantung pada produksi fotosintetik di dalam **zona fotik**. Dalam hal ini energi dan nutrisi turun ke bawah dalam bentuk plankton yang mati dan detritus lainnya.

Tingkat trofik di atas produsen primer adalah **konsumen primer** atau **konsumen tingkat I**. Konsumen ini merupakan organisme herbivora. Konsumen primer ini akan dimakan oleh tingkat trofik selanjutnya, yaitu **konsumen sekunder** atau **konsumen tingkat II** yang sebagian besar berupa organisme karnivora. Konsumen sekunder ini akhirnya akan dimakan oleh **konsumen tersier** atau **konsumen tingkat III**. Beberapa ekosistem bahkan memiliki tingkat trofik yang lebih tinggi lagi.

Beberapa konsumen, **detritivora**, mendapatkan energinya dengan memakan detritus. Detritus adalah sisa-sisa organisme yang mati, misalnya feses, daun yang gugur, dan bangkai dari semua tingkat trofik. Detritus ini akan mengembalikan senyawa-senyawa organik kembali ke tanah menjadi senyawa-senyawa anorganik sehingga dapat dimanfaatkan kembali oleh organisme autotrof. Proses dekomposisi menjadi proses yang vital karena membuat siklus energi dapat berlangsung terus-menerus.

Berdasarkan komponen tingkat trofiknya, rantai makanan dibedakan menjadi dua, yaitu rantai makanan perumput dan rantai makanan detritus. **Rantai makanan perumput** merupakan rantai makanan yang diawali dari tumbuhan pada trofik awalnya. Contohnya tumbuhan dimakan belalang, belalang dimakan burung, burung dimakan ular, dan ular dimakan burung elang. Sedangkan **rantai makanan detritus** tidak dimulai dari tumbuhan, tetapi dimulai dari detritus sebagai trofik awalnya. Contoh rantai makanan detritus adalah seresah atau dedaunan dimakan cacing tanah, cacing tanah dimakan ikan, dan ikan dimakan manusia.

Detritivora seringkali menjadi penghubung utama antara produsen dan konsumen dalam suatu ekosistem. Di ekosistem sungai, misalnya, banyak bahan organik yang dibutuhkan oleh konsumen disediakan oleh tumbuhan terestrial. Bahan organik tersebut masuk ke dalam ekosistem sungai sebagai guguran dedaunan dan serpihan-serpihan lain yang jatuh ke dalam air atau tercuci oleh aliran permukaan. Seekor siput air (*Lymnaea* sp.) mungkin bisa memakan detritus tersebut di dasar sungai dan kemudian siput tersebut dimakan ikan. Contoh lain adalah organisme prokariotik yang menguraikan sampah-sampah organik berupa dedaunan di lantai hutan.

Kalian tentu ingin menambah pengetahuan tentang rantai makanan? Coba kalian lakukan *Percobaan* berikut.

Membuat Model Ekosistem untuk Memahami Rantai Makanan

A. Dasar Teori

Ekosistem merupakan suatu hubungan yang saling mempengaruhi antara komponen biotik dan abiotik. Seperti populasi dan komunitas, batas ekosistem umumnya tidak jelas. Ekosistem dapat berupa suatu mikrokosmos laboratorium, misalnya **terarium**, hingga makrokosmos berupa danau dan hutan, dan biosfer. Biosfer merupakan suatu ekosistem global, yaitu gabungan semua ekosistem lokal yang ada di bumi.

Di dalam suatu ekosistem, kita dapat mengamati adanya aliran energi dari organisme satu ke organisme lain melalui peristiwa makan dan dimakan. Untuk mempermudah pengamatan ini, kita dapat membuat terarium sebagai model.

B. Tujuan

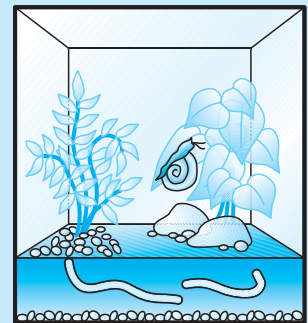
Memahami rantai makanan dengan pengamatan pada model ekosistem

C. Alat dan Bahan

1. akuarium kaca
2. tanah, kerikil, pasir
3. air
4. bermacam-macam hewan dan tumbuhan, seperti cacing tanah, bekicot, capung, katak, tumbuhan lumut, paku, atau tumbuhan dikotil yang kecil

D. Langkah Percobaan

1. Bersihkan akuarium, lalu masukkan kerikil, tanah, dan pasir pada bagian tertentu.
2. Masukkan air secukupnya, dan masukkan cacing tanah, tumbuhan, dan hewan-hewan lainnya
4. Susunlah terrarium tersebut seperti gambar berikut.
5. Amati dan catat interaksi yang terjadi di dalam terrarium tersebut selama beberapa hari.

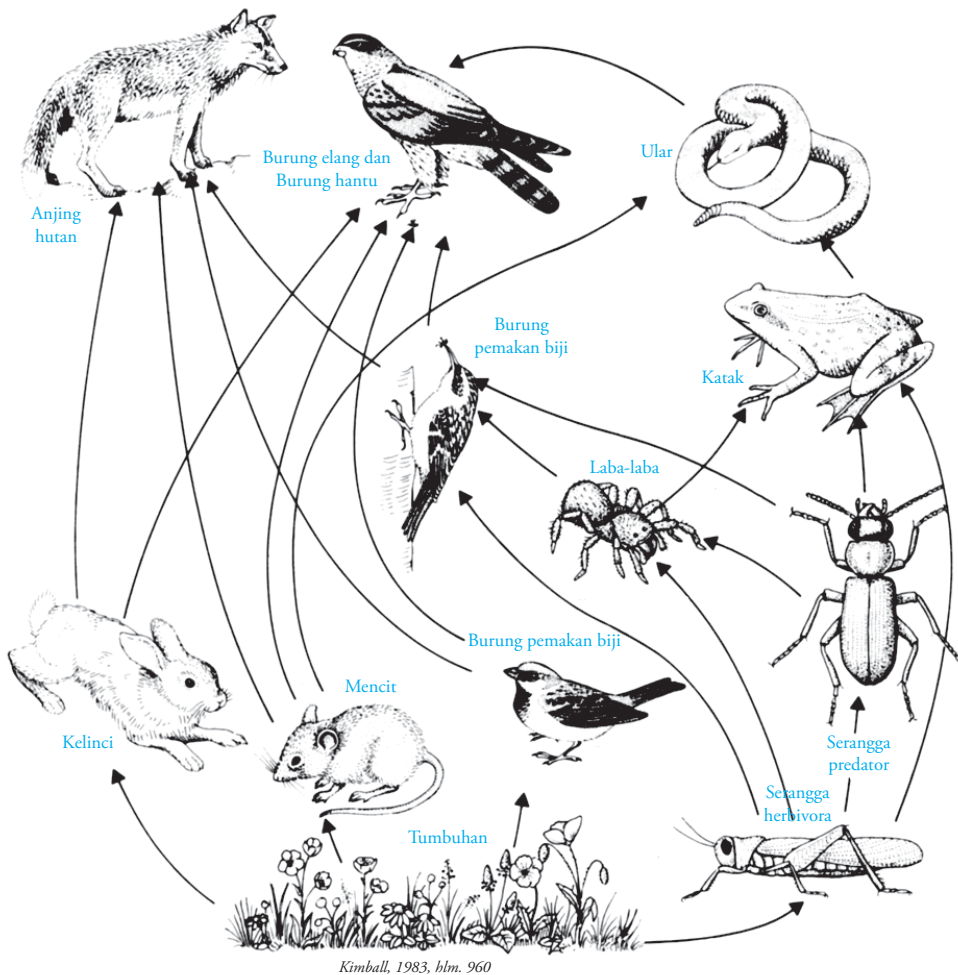


E. Pembahasan

1. Sebutkan tingkatan trofik yang ada dan buatlah bagan semua hubungan antarorganisme yang terdapat di dalam akuarium yang menunjukkan adanya rantai makanan.
2. Adakah konsumen karnivora yang tidak dimakan oleh organisme lain?
3. Menurut pendapat kalian, apakah yang akan terjadi jika salah satu konsumen dihilangkan dari terarium tersebut?
4. Buatlah kesimpulan hasil pengamatan kalian.
5. Tulislah laporan percobaan kalian secara berkelompok dan kumpulkan pada guru kalian.

Dari hasil percobaan tersebut, apakah setiap organisme hanya memakan satu jenis organisme saja? Tentu tidak. Dalam rantai makanan, konsumen pada tingkat trofik tertentu tidak hanya memakan satu jenis organisme yang ada di tingkat trofik bawahnya. Akan tetapi, setiap organisme dapat memakan dua atau lebih organisme lain. Ini menyebabkan terjadinya beberapa rantai makanan di dalam ekosistem saling berhubungan satu sama lain. Hubungan antar-rantai makanan tersebut membentuk susunan yang lebih kompleks, disebut **jaring-jaring**

makanan (*food web*). Sehingga rantai makanan dari produsen → konsumen primer → konsumen sekunder → dan seterusnya, sebenarnya hanyalah penyederhanaan dari beberapa permutasi yang dapat dimiliki oleh interaksi makan dan dimakan. Contoh jaring-jaring makanan yang terjadi pada suatu ekosistem dapat kalian lihat pada Gambar 9.19.



Gambar 9.19 Jaring-jaring makanan terdiri dari beberapa rantai makanan

Dari gambar tersebut, coba kalian diskusikan permasalahan berikut.

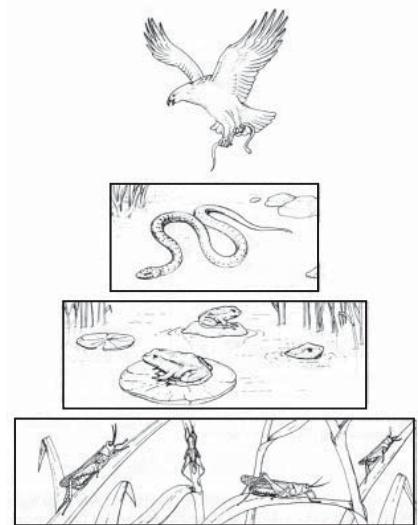
DISKUSI

Diskusikan bersama teman sebangku kalian pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Berdasarkan gambar jaring-jaring makanan pada Gambar 9.19, tuliskan semua rantai makanan yang ada.
2. Coba kalian amati dan catat hewan-hewan pada ekosistem sawah dan ekosistem kolam di sekitar kalian. Lalu, buatlah diagram jaring-jaring makanan seperti gambar tersebut.
3. Presentasikan hasil diskusi kalian di depan kelas. Mintalah pendapat teman dan guru kalian.

Interaksi di dalam ekosistem yang sehat menunjukkan adanya **keseimbangan dinamis**. Lalu bagaimana keseimbangan tersebut terjadi, mengapa interaksi makan dan dimakan di dalam jaring-jaring makanan tersebut bisa seimbang? Hal ini terjadi karena adanya proporsi yang sesuai pada setiap tingkatan trofik di dalam rantai makanan.

Kalian telah memahami bahwa pada rantai makanan terdapat tingkat trofik tertentu. Organisme yang menempati tingkat trofik di bagian bawah merupakan sumber makanan bagi organisme di tingkat trofik selanjutnya. Untuk menjaga keseimbangan antara bahan makanan dan pemangsa, organisme di tingkat trofik atas mempunyai jumlah yang lebih sedikit dari organisme di tingkat trofik bawahnya. Sebagai contoh, pada rantai makanan rumput, jumlah rumput pada suatu ekosistem lebih banyak dari jumlah hewan herbivora. Begitu pula, jumlah hewan herbivora lebih banyak daripada hewan karnivora. Keadaan ini dapat digambarkan dalam piramida makanan seperti Gambar 9.20.

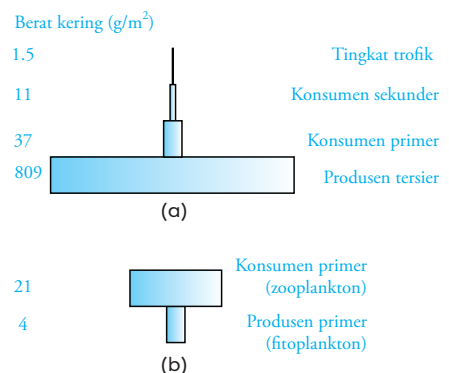


Gambar 9.20 Piramida makanan

Piramida tersebut merupakan salah satu jenis piramida ekologi. **Piramida ekologi** merupakan gambaran yang menunjukkan hubungan struktur trofik dan fungsi trofik. Berdasarkan fungsinya, piramida ekologi dibedakan menjadi tiga macam, yaitu piramida jumlah, piramida biomassa, dan piramida energi.

Piramida jumlah didasarkan pada jumlah individu pada setiap tingkatan trofik. Organisme yang menempati tingkat dasar adalah produsen selalu memiliki jumlah jauh lebih banyak daripada konsumen primer (tingkat trofik di atasnya). Sementara jumlah konsumen primer lebih banyak dari jumlah konsumen sekunder. Konsumen sekunder ini jumlahnya pun lebih banyak dari konsumen tersier. Organisme yang berada di puncak piramida mempunyai jumlah paling sedikit dibandingkan organisme di tingkat bawahnya. Perhatikan kembali Gambar 9.20.

Jika piramida jumlah didasarkan pada jumlah individu pada setiap tingkatan trofik, **piramida biomassa** didasarkan pada pengukuran massa individu per m^2 pada setiap tingkatan trofik. Biomassa merupakan ukuran massa organisme hidup pada waktu tertentu. Biomassa pada setiap tingkat trofik dicari sebagai rata-rata massa organisme pada suatu daerah dengan luas tertentu. Pada piramida biomassa, massa rata-rata produsen lebih besar dari massa rata-rata konsumen di atasnya. Piramida biomassa umumnya menyempit secara tajam dari produsen di bagian dasar ke karnivora tingkat teratas. Pada beberapa ekosistem akuatik terjadi piramida biomassa terbalik karena konsumen primer melebihi produsen. Untuk lebih jelasnya, perhatikan Gambar 9.21.



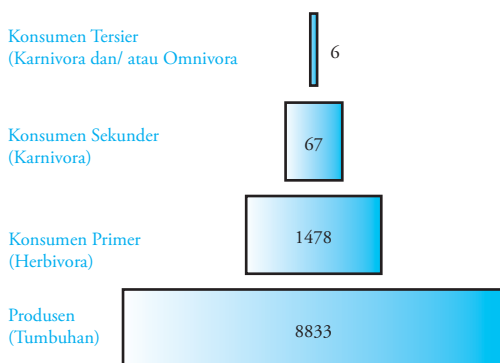
Gambar 9.21 Piramida biomassa (a) Piramida biomassa yang ideal (b) Piramida biomassa yang terbalik

Jenis piramida ekologi yang ketiga adalah piramida energi. Kalian telah memahami bahwa proses makan dan dimakan yang terjadi pada sebuah ekosistem juga diikuti oleh perpindahan energi. Kalian masih ingat Hukum Kekekalan Energi bukan? Menurut **Hukum Kekekalan Energi**, energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, tetapi dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Semua energi yang ada di bumi sebenarnya berasal dari satu sumber yaitu matahari. Energi cahaya matahari diubah menjadi makanan oleh produsen melalui proses fotosintesis. Energi ini kemudian dimanfaatkan oleh konsumen primer dan berlanjut sampai konsumen tersier.

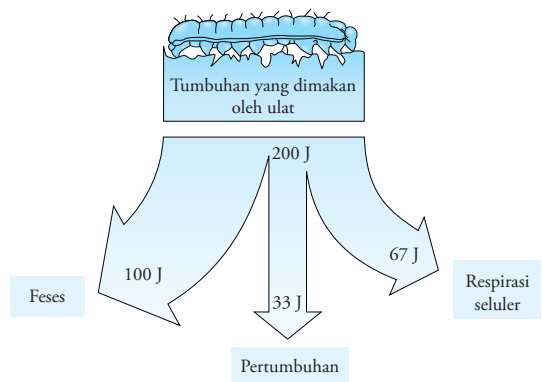
Satu hal yang perlu diingat adalah tidak semua konsumen memanfaatkan energi dari makanan yang didapatnya. Keadaan ini mengisyaratkan adanya pengurangan energi pada setiap tingkatan trofik pada suatu piramida. Piramida semacam ini disebut sebagai **piramida energi**. Piramida energi mampu memberikan gambaran akurat tentang kecepatan aliran energi dalam suatu ekosistem atau **produktivitas** pada tingkat trofik. Tingkatan trofik pada piramida energi didasarkan pada energi yang dikeluarkan individu dan dinyatakan dalam kilokalori/m²/waktu. Contoh piramida energi dapat kalian lihat pada Gambar 9.22.

Energi dapat berada dalam berbagai bentuk. Misalnya energi kimia, energi potensial, energi kinetik, energi panas, energi listrik, dan lain-lain. Namun, semua bentuk energi tersebut berasal dari satu sumber yaitu matahari. Perubahan bentuk energi ke bentuk energi lain ini dinamakan **transformasi energi**. Sedangkan perpindahan energi dari satu tempat ke tempat lain disebut **transfer energi** atau **aliran energi**.

Dalam suatu ekosistem, energi matahari diubah oleh produsen menjadi makanan bagi konsumen primer. Oleh konsumen primer, makanan yang diperoleh diubah kembali menjadi energi. Konsumen sekunder juga melakukan hal yang sama setelah memakan konsumen primer. Namun, tidak semua makanan yang dikonsumsi diubah menjadi energi. Perhatikan Gambar 9.23, yang menggambarkan pembagian energi di dalam sebuah mata rantai pada rantai makanan.



Gambar 9.22 Contoh piramida energi



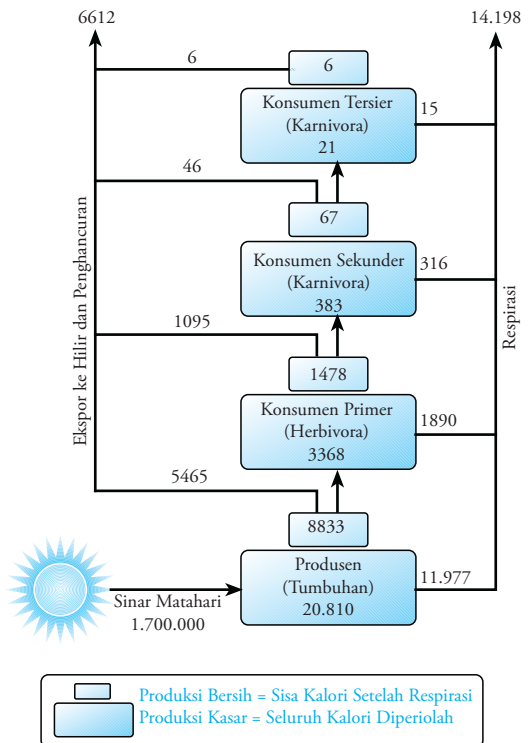
Gambar 9.23 Pembagian energi pada salah satu tingkatan trofik rantai makanan

Selama proses transfer energi, selalu terjadi pengurangan jumlah energi setiap melewati suatu tingkat trofik. Selama terjadi aliran energi dalam suatu rantai makanan, terjadi pula aliran materi. Materi berupa unsur-unsur dalam bentuk senyawa kimia yang merupakan materi dasar makhluk hidup dan tak hidup. Bagan terjadinya transfer energi pada suatu ekosistem dapat kalian lihat pada Gambar 9.24.

Pergerakan energi dan materi melalui ekosistem saling berhubungan karena keduanya berlangsung melalui transfer zat-zat di dalam rantai makanan. Dari 200 J energi yang dikonsumsi oleh ulat, misalnya, hanya sekitar 33 J (seperenam) yang digunakan untuk pertumbuhannya, sedangkan sisanya dibuang sebagai feses atau digunakan untuk respirasi seluler. Tentunya, energi yang terkandung dalam feses tersebut tidak hilang dari ekosistem karena masih dapat dikonsumsi oleh detritivora. Akan tetapi, energi yang digunakan untuk respirasi hilang dari ekosistem. Dengan demikian, jika radiasi cahaya matahari merupakan sumber utama energi untuk sebagian ekosistem, maka kehilangan panas pada respirasi adalah tempat pembuangan energi. Hal inilah yang menyebabkan energi dikatakan mengalir melalui ekosistem dan bukan didaur di dalam ekosistem. Hanya energi kimia yang disimpan untuk pertumbuhan (atau produksi keturunan) oleh herbivora yang tersedia sebagai makanan bagi konsumen sekunder. Energi berbeda dengan materi karena energi tidak dapat didaur ulang (disiklus ulang). Sehingga suatu ekosistem harus terus-menerus diberi tenaga dari sumber eksternal (matahari). Dengan demikian, energi mengalir melewati ekosistem, sementara materi bersiklus di dalam ekosistem tersebut.

2. Siklus Biogeokimia

Aliran energi pada suatu ekosistem berjalan dalam satu arah. Energi ekosistem berasal dari energi matahari yang digunakan produsen untuk berfotosintesis. Sehingga, energi tersebut diubah menjadi energi kimia dan kemudian diteruskan ke konsumen dalam bentuk senyawa-senyawa organik dalam makanannya, dan dibuang dalam bentuk panas. Unsur-unsur kimia, seperti karbon dan nitrogen, bersiklus di antara komponen-komponen abiotik dan biotik ekosistem. Organisme fotosintetik mendapatkan unsur-unsur ini dalam bentuk anorganik dari udara, tanah, dan air, dan mengasimilasi unsur-unsur tersebut menjadi molekul organik, yang sebagian kemudian dikonsumsi oleh hewan. Unsur itu dikembalikan dalam bentuk anorganik ke udara, tanah, dan air melalui metabolisme tumbuhan dan hewan, serta melalui organisme lain, seperti bakteri dan fungi, yang menguraikan buangan organik dan organisme yang mati.



Gambar 9.24 Aliran energi dari satu organisme ke organisme lain (kkal/m²/tahun)

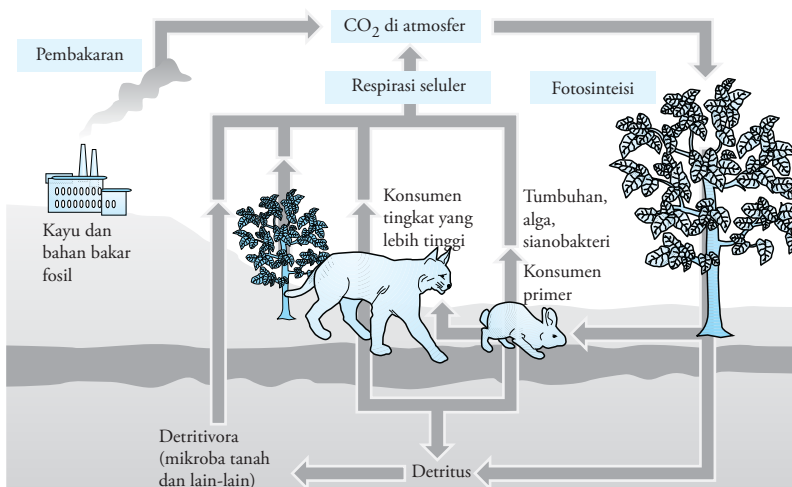
Karena pergerakan unsur-unsur yang merupakan nutrisi di dalam ekosistem terjadi secara berulang melalui komponen biotik dan abiotik (geologis), maka proses tersebut juga disebut **siklus biogeokimia** (*biogeochemical cycle*). Pada siklus tersebut, unsur atau senyawa kimia mengalir dari komponen abiotik ke komponen biotik, lalu kembali lagi ke komponen abiotik. Siklus unsur-unsur tersebut tidak hanya melalui makhluk hidup, tetapi melibatkan juga reaksi-reaksi kimia dalam lingkungan abiotik.

Proses-proses biologis dan geologis menggerakkan nutrisi di antara komponen-komponen organik dan anorganik. Lintasan spesifik suatu bahan kimia melalui suatu siklus biogeokimia bervariasi menurut unsur yang dimaksud pada struktur trofik suatu ekosistem. Dalam uraian berikut kita akan membahas beberapa siklus, yaitu siklus karbon, siklus fosfor, siklus nitrogen, dan siklus air.

a. Siklus Karbon

Karbon merupakan bahan dasar penyusun **senyawa organik**. Di dalam organisme hidup terdapat 18% karbon. Kemampuan saling mengikat pada atom-atom karbon (C) merupakan dasar bagi keragaman molekul dan ukuran molekul yang sangat diperlukan dalam kehidupan. Selain terdapat dalam bahan organik, karbon juga ditemukan dalam **senyawa anorganik**, yaitu gas karbondioksida (CO_2) dan batuan karbonat (batu kapur dan koral) dalam bentuk kalsium karbonat (CaCO_3). Organisme autotrof (tumbuhan) menangkap karbon dioksida dan mengubahnya menjadi karbohidrat, protein, lipid, dan senyawa organik lainnya. Bahan organik yang dihasilkan tumbuhan ini merupakan sumber karbon bagi hewan dan konsumen lainnya.

Pada setiap tingkatan trofik rantai makanan, karbon kembali ke atmosfer atau air sebagai hasil **pernapasan (respirasi)**. Produsen, herbivora, dan karnivora selalu bernapas dan menghasilkan gas karbon dioksida. Setiap tahun, tumbuhan mengeluarkan sekitar sepertujuh dari keseluruhan CO_2 yang terdapat di atmosfer. Meskipun konsentrasi CO_2 di atmosfer hanya sekitar 0,03%, namun karbon mengalami siklus yang cepat, sebab tumbuhan mempunyai kebutuhan yang tinggi akan gas CO_2 . Walaupun begitu, sejumlah karbon dipindahkan dari siklus itu dalam waktu yang lebih lama. Hal ini mungkin terjadi karena karbon terkumpul di dalam kayu dan bahan organik lain yang tahan lama, termasuk batu bara dan minyak bumi. **Perombakan** oleh detritivor akhirnya mendaur ulang karbon ke atmosfer sebagai CO_2 . Selain itu pembakaran kayu dan bahan bakar fosil juga ikut berperan, karena api dapat mengoksidasi bahan organik atau kayu menjadi CO_2 dengan lebih cepat. Untuk lebih jelasnya, perhatikan Gambar 9.25.



Gambar 9.25 Siklus karbon.

b. Siklus Fosfor

Keberadaan fosfor pada organisme hidup sangat kecil, tetapi peranannya sangat diperlukan. Atom fosfor hanya ditemukan dalam bentuk senyawa fosfat (PO_4^{-3}). Fosfat diserap oleh tumbuhan dan digunakan untuk sintesis organik. Fosfor banyak dikandung oleh **asam nukleat**, yaitu bahan yang menyimpan dan mentranslasikan sandi genetik. Atom fosfor juga merupakan dasar bagi ATP (*Adenosine Tri Phospat*) berenergi tinggi yang digunakan untuk respirasi seluler dan fotosintesis. Selain itu merupakan salah satu mineral penyusun tulang dan gigi.

Fosfor merupakan komponen yang sangat **langka** dalam organisme tak hidup. Produktivitas ekosistem darat dapat ditingkatkan jika fosfor dalam tanah ditingkatkan. Peristiwa pelapukan batuan oleh fosfat akan menambah kandungan fosfat di dalam tanah. Contohnya adalah akibat hujan asam (Gambar 9.26). Setelah produsen menggabungkan fosfor ke dalam bentuk biologis, fosfor dipindahkan ke konsumen dalam bentuk organik. Setelah itu, fosfor ditambahkan kembali ke tanah melalui ekskresi fosfat oleh hewan dan bakteri pengurai detritus. Humus dan partikel tanah mengikat fosfat sedemikian rupa, sehingga siklus fosfor terlokalisasi dalam ekosistem. Namun, fosfor dapat dengan mudah terbawa aliran air yang pada akhirnya terkumpul di laut. Erosi yang terjadi akan mempercepat pengurasan fosfat di samping pelapukan batuan yang sejalan dengan hilangnya fosfat.

Fosfat yang berada di lautan secara perlahan terkumpul dalam endapan yang kemudian tergabung dalam batuan. Ketika permukaan air laut mengalami penurunan atau dasar laut mengalami kenaikan, batuan yang mengandung fosfor ini menjadi bagian dari ekosistem darat. Dengan demikian, fosfat mengalami siklus di antara tanah, tumbuhan, dan konsumen dalam waktu tertentu. Diagram terjadinya siklus fosfor dapat kalian lihat pada Gambar 9.27.



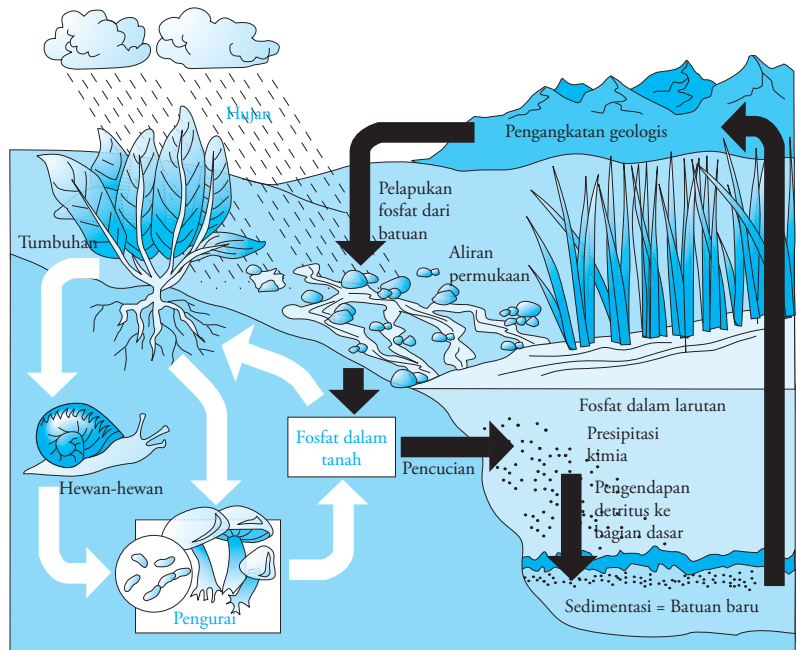
(a)



(b)

Gambar 9.26 Pelapukan batuan akibat hujan asam
(a) sebelum terkena hujan asam
(b) setelah terkena hujan asam

Kimball, 1983, *ilmu*, 990



Gambar 9.27 Siklus fosfor.

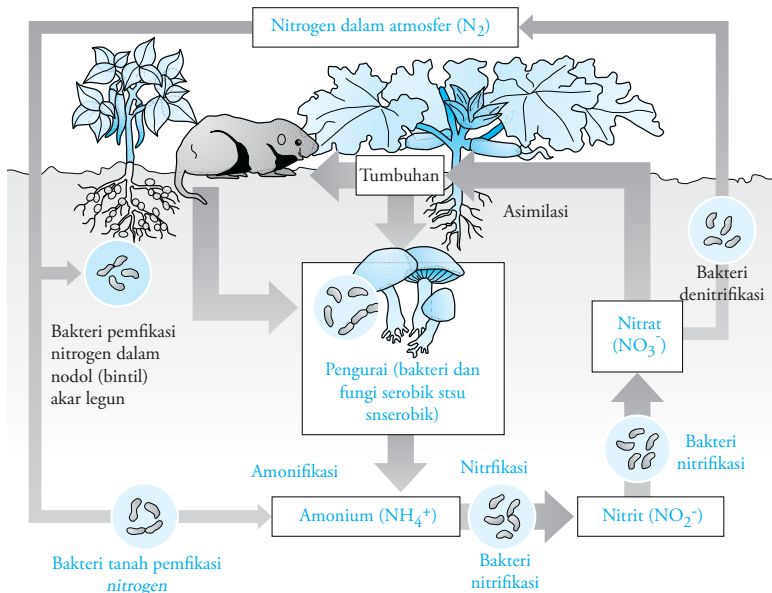
c. Siklus Nitrogen

Atmosfer mengandung lebih kurang 80% atom nitrogen dalam bentuk gas nitrogen (N_2). Di dalam organisme, nitrogen ditemukan dalam semua **asam amino** yang merupakan penyusun protein. Bagi tumbuhan, nitrogen tersedia dalam bentuk amonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-) yang masuk ke dalam tanah melalui air hujan dan pengendapan debu-debu halus atau butiran lainnya. Beberapa tumbuhan, seperti seperti *Bromeliaceae* epifit yang ditemukan di hutan hujan tropis, memiliki akar udara yang dapat mengambil NH_4^+ dan NO_3^- secara langsung dari atmosfer.

Jalur lain penambahan nitrogen dalam ekosistem adalah melalui fiksasi nitrogen (*nitrogen fixation*). **Fiksasi nitrogen** merupakan proses perubahan gas nitrogen (N_2) menjadi mineral yang digunakan untuk mensintesis senyawa organik seperti asam amino. Nitrogen difiksasi oleh bakteri *Rhizobium*, *Azotobacter*, dan *Clostridium* yang hidup bebas dalam tanah. Selain dari sumber alami, sekarang ini fiksasi nitrogen dibuat secara industri yang digunakan sebagai pupuk. Pupuk bernitrogen ini memberikan sumbangan utama dalam siklus nitrogen di suatu ekosistem akibat kegiatan pertanian.

Meskipun tumbuhan dapat menggunakan amonium secara langsung, tetapi sebagian besar amonium dalam tanah digunakan oleh bakteri aerob tertentu sebagai sumber energi. Aktivitas ini mengubah amonium menjadi nitrat (NO_3^-) kemudian menjadi nitrit (NO_2^-). Proses ini disebut **nitrifikasi**. Nitrat yang dibebaskan bakteri ini kemudian diubah oleh tumbuhan menjadi bentuk organik, seperti asam amino

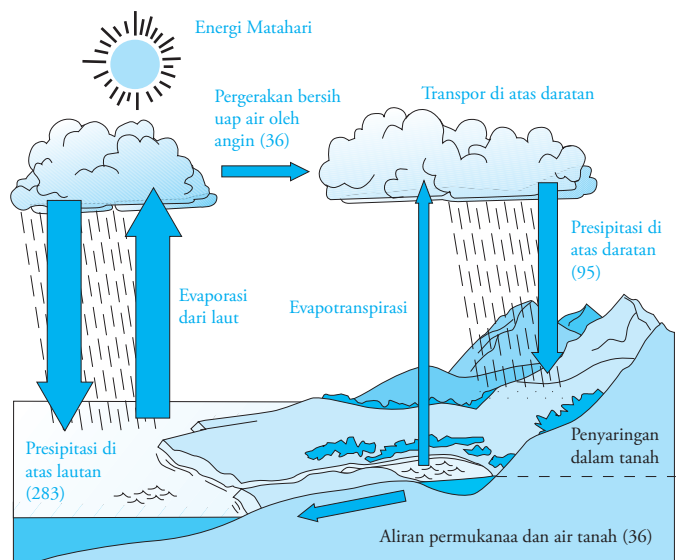
dan protein. Beberapa hewan akan mengasimilasi nitrogen organik dengan cara memakan tumbuhan atau hewan lain. Pada kondisi tanpa oksigen (anaerob), beberapa bakteri dapat memperoleh oksigen untuk metabolisme dari senyawa nitrat. Proses ini disebut **denitrifikasi**. Akibat proses ini, beberapa nitrat diubah menjadi N_2 yang kembali ke atmosfer. Perombakan dan penguraian nitrogen organik kembali menjadi amonium yang disebut **amonifikasi** dilakukan oleh bakteri dan jamur pengurai. Proses-proses tersebut akan mendaur ulang sejumlah besar nitrogen di dalam tanah. Untuk lebih jelasnya, perhatikan Gambar 9.28.



Gambar 9.28 Siklus nitrogen

d. Siklus Air

Air merupakan **komponen penting** bagi kehidupan. Selain itu, aliran air dalam ekosistem berperan mentransfer zat-zat dalam siklus biogeokimia. Siklus air digerakkan oleh energi matahari melalui **penguapan** (evaporasi) dan terjadinya **hujan** (presipitasi). Di lautan, jumlah air yang menguap lebih besar dari curah hujan. Kelebihan uap air ini dipindahkan oleh angin ke daratan. Di atas daratan, persipitasi melebihi evaporasi. Aliran air permukaan dan air tanah dari darat menyeimbangkan aliran uap air dari lautan ke darat. Perhatikan Gambar 9.29.



Gambar 9.29 Siklus air

Siklus air memiliki sifat khas dibandingkan siklus biogeokimia yang lain. Sebagian besar siklus ini terjadi melalui proses fisik, bukan kimia. Dalam proses-proses tersebut air berbentuk H_2O , sedangkan di dalam fotosintesis terjadi perubahan air secara kimiawi.

Nah, sampai di sini pemahaman kalian tentang ekosistem sudah semakin mantap. Sebelum kalian mengerjakan soal-soal dalam rubrik *Uji Kompetensi*, terlebih dahulu kerjakanlah rubrik *Telisik* berikut.

TELISIK

Manusia merupakan salah satu faktor biotik pada sebuah ekosistem. Aktivitas kegiatan manusia dapat memberikan dampak positif maupun negatif bagi keseimbangan ekosistem di suatu daerah. Dari berbagai media, baik buku, majalah, koran, maupun internet, buatlah sebuah kliping yang berisi berbagai artikel yang menggambarkan hubungan manusia dengan kelangsungan ekosistem. Kemudian, analisislah dampak yang ditimbulkan oleh manusia terhadap kelangsungan ekosistem. Dampak tersebut dapat dikelompokkan menjadi beberapa topik, yaitu pertumbuhan populasi manusia dan gangguan siklus biogeokimia, aktivitas manusia yang mengganggu habitat dan keanekaragaman hayati, kegiatan pertanian dan gangguan rantai makanan, dan gangguan fisik berupa perubahan tatanan komponen ekosistem. Kumpulkan hasil pekerjaan kalian kepada guru.

Sekarang saatnya menguji kemampuan kalian dalam menguasai materi. Kerjakanlah soal-soal dalam rubrik *Uji Kompetensi* berikut.

UJI KOMPETENSI

Jawablah soal-soal berikut dengan tepat.

1. Jelaskan pola-pola interaksi yang terjadi di dalam ekosistem. Lengkapi masing-masing dengan contoh.
2. Rantai makanan dibedakan menjadi dua jenis. Sebutkan dan jelaskan dengan contoh.
3. Apakah pengertian piramida ekologi? Sebutkan dan jelaskan macam-macam piramida ekologi.
4. Gambarkan dalam bentuk diagram terjadinya transfer energi dari satu organisme ke organisme lain.
5. Apakah pengertian siklus biogeokimia? Jelaskan berbagai macam siklus biogeokimia dengan penjelasannya dalam bentuk gambar.

1. Ekosistem disusun oleh dua komponen, yaitu lingkungan fisik atau makhluk tidak hidup (komponen abiotik) dan berbagai jenis makhluk hidup (komponen biotik).
2. Komponen abiotik merupakan keadaan fisik dan kimia di sekitar organisme yang menjadi medium dan substrat untuk menunjang berlangsungnya kehidupan organisme tersebut. Contoh komponen abiotik adalah air, udara, cahaya matahari, tanah, topografi, dan iklim.
3. Komponen biotik meliputi semua jenis makhluk hidup yang ada pada suatu ekosistem. Contoh komponen biotik adalah manusia, hewan, tumbuhan, dan mikroorganisme.
4. Ekosistem merupakan salah satu satuan makhluk hidup. Berbagai jenis makhluk hidup dapat dikelompokkan ke dalam satuan-satuan makhluk hidup, meliputi individu, populasi, komunitas, ekosistem, bioma, dan biosfer.
5. Di dalam ekosistem terdapat aliran energi, yaitu transfer energi dari produsen ke konsumen melalui rantai makanan. Sedangkan hubungan komponen biotik dan komponen abiotik adalah bagian dari siklus kimia, yaitu siklus unsur-unsur kimia penyusun makhluk hidup dan makhluk tak hidup.
6. Rantai makanan ialah perpindahan materi dan energi dari makhluk hidup satu ke makhluk hidup lain melalui proses makan dan dimakan dengan urutan tertentu. Rantai makanan ini terdiri atas rantai makanan perumput dan detritus. Berbagai rantai makanan bergabung membentuk jaring-jaring makanan.
7. Piramida ekologi merupakan gambaran yang menunjukkan hubungan struktur trofik dan fungsi trofik. Berdasarkan fungsinya, piramida ekologi dibedakan menjadi tiga macam, yaitu piramida cacah, piramida biomassa, dan piramida energi.
8. Siklus biogeokimia adalah siklus unsur atau senyawa yang mengalir dari komponen abiotik ke biotik dan kembali lagi ke komponen abiotik. Beberapa siklus biogeokimia yang bersifat global adalah siklus karbon, siklus fosfor, siklus nitrogen, dan siklus air.

SENARAIKATA

Emigrasi Keluarnya beberapa individu anggota populasi dari satu daerah ke daerah lain, sehingga mengurangi ukuran populasi yang ditinggalkannya

Imigrasi Masuknya beberapa individu dari luar daerah ke dalam suatu populasi, sehingga akan menambah ukuran populasi yang dimasukinya.

Natalitas Lahirnya individu-individu di dalam sebuah populasi, sehingga menambah ukuran populasi

Mortalitas Matinya individu-individu di dalam sebuah populasi, sehingga mengurangi ukuran populasi

Fenomena Suatu penampakan atau kejadian

Inklusif Tidak eksklusif

Zona limnetik Daerah lapisan air terbuka, jaraknya agak jauh dari tepi danau, dan mendapatkan cahaya yang cukup

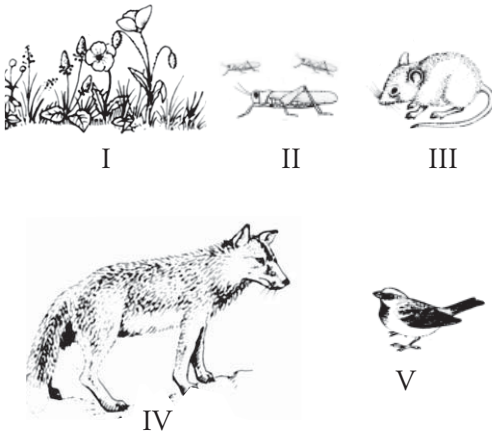
Zona litoral Daerah dangkal dekat pantai

Zona afotik Daerah di laut dalam yang tidak menerima penetrasi cahaya matahari

Zona fotik Daerah di laut yang menerima penetrasi cahaya matahari

A Pilihlah jawaban yang paling tepat.

- Berbagai interaksi saling mempengaruhi yang terjadi antara makhluk hidup dengan lingkungannya disebut
 - simbiosis
 - ekosistem
 - aliran energi
 - kompetisi
 - siklus biogeokimia
- Yang bukan merupakan komponen abiotik adalah
 - air dan udara
 - cahaya matahari
 - cacing tanah
 - topografi
 - iklim.
- Perhatikan gambar berikut.

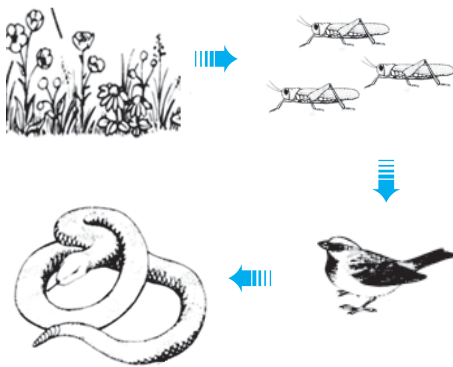


Organisme yang berperan sebagai produsen ditunjukkan oleh gambar

- II
 - I
 - III
 - V
 - IV
- Organisme yang mendapatkan makanan dengan menguraikan sisa-sisa organisme yang telah mati disebut

- detritus
 - dekomposer
 - herbivora
 - karnivora
 - konsumen
- Satuan makhluk hidup yang paling kecil disebut
 - komunitas
 - individu
 - populasi
 - biosfer
 - bioma
 - Perbedaan komunitas dan ekosistem adalah
 - ekosistem merupakan bagian komunitas
 - komunitas lebih luas dari ekosistem
 - komunitas terdiri dari faktor abiotik dan biotik, ekosistem terdiri dari faktor biotik
 - ekosistem tersusun dari faktor biotik dan abiotik, komunitas tersusun dari faktor biotik
 - komunitas tersusun dari makhluk hidup, ekosistem tersusun dari makhluk tak hidup
 - Bila pada suatu ekosistem terjadi peningkatan populasi secara berlebihan pada salah satu komponen biotiknya, maka dampaknya akan berpengaruh kepada
 - seluruh komponen biotik yang ada saja
 - komponen biotik yang populasinya meningkat
 - komponen abiotik yang mempengaruhi organisme tersebut
 - komponen abiotik dan biotik yang ada
 - meningkat dan menurunnya komponen abiotik lainnya
 - Jika suatu populasi rusa bersaing untuk mendapatkan air dengan populasi gajah, pola interaksi yang terjadi disebut

- kompetisi intraspesifik
 - kompetisi interspesifik
 - kompetisi spesifik
 - simbiosis mutualisme
 - simbiosis komensalisme
9. Hubungan dua makhluk hidup yang hidup bersama, tetapi salah satu pihak dirugikan disebut simbiosis
- parasit-hospes
 - mutualisme
 - komensalisme
 - parasitisme
 - paramutualisme
10. Perhatikan gambar rantai makanan berikut.



Pada rantai makanan tersebut, padi, belalang, burung, dan ular berturut-turut berperan sebagai

- produsen, konsumen sekunder, konsumen tersier, konsumen primer
 - konsumen primer, produsen, konsumen tersier, konsumen sekunder
 - produsen, konsumen primer, konsumen sekunder, konsumen tersier
 - produsen, konsumen tersier, konsumen sekunder, pengurai
 - konsumen sekunder, konsumen primer, produsen, pengurai
11. Tingkatan dalam rantai makanan disebut
- rantai makanan
 - jaring-jaring makanan
 - trofik
 - terarium
 - keseimbangan dinamis

12. Gambaran yang menunjukkan gambaran akurat tentang kecepatan aliran energi dalam suatu ekosistem adalah piramida
- makanan
 - ekologi
 - biomassa
 - energi
 - jumlah
13. Pernyataan yang benar tentang siklus energi adalah
- energi matahari diubah oleh konsumen menjadi makanan
 - semua makanan yang dikonsumsi produsen diubah menjadi energi
 - setiap melewati satu tingkatan trofik, jumlah energi selalu berkurang
 - selama terjadi transfer energi tidak diikuti transfer materi
 - transfer energi terjadi dari konsumen ke produsen
14. Pemasok utama energi di dalam hampir semua ekosistem adalah
- tumbuhan hijau
 - radiasi cahaya matahari
 - bakteri fotosintetik
 - produsen primer
 - air dan unsur hara di dalam tanah
15. Pada setiap tingkatan trofik rantai makanan, karbon kembali ke atmosfer atau air melalui
- respirasi
 - perombakan
 - fotosintesis
 - pembakaran bahan organik
 - evaporasi
16. Peran fosfor dalam tubuh organisme adalah sebagai
- mineral penyusun protein
 - penyusun senyawa organik
 - mineral penyusun tulang dan gigi
 - pelapuk batuan
 - mineral penyusun darah
17. Proses perubahan gas nitrogen (N_2) menjadi mineral yang digunakan untuk mensintesis senyawa organik disebut

- a. nitrifikasi
 - b. fiksasi nitrogen
 - c. denitrifikasi
 - d. amonifikasi
 - e. nitrogenasi
18. Siklus air digerakkan oleh tenaga matahari melalui
- a. evaporasi
 - b. presipitasi
 - c. transpirasi
 - d. evaporasi dan presipitasi
 - e. evaporasi dan transpirasi
19. Unsur yang selalu ditemukan di dalam organisme adalah
- a. nitrogen sebagai penyusun asam amino
 - b. amonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-)
 - c. karbon sebagai penyusun asam amino
 - d. nitrogen sebagai penyusun ATP
 - e. fosfor sebagai mineral penyusun tulang dan gigi
20. Siklus biogeokimia yang memiliki sifat yang khas adalah siklus
- a. karbon
 - b. nitrogen
 - c. air
 - d. fosfor
 - e. karbon

B Selesaikan soal-soal berikut dengan benar dan jelas.

1. Sebutkan komponen abiotik dan biotik penyusun ekosistem. Jelaskan pula pengaruh setiap komponen terhadap adaptasi makhluk hidup di suatu ekosistem.
2. Apa yang akan terjadi jika di bumi ini tidak ada organisme yang berperan sebagai pengurai? Jelaskan.
3. Jelaskan perbedaan komunitas dan ekosistem.
4. Apa yang akan terjadi jika ular sawah yang merupakan pengendali populasi tikus diburu hingga habis? Jelaskan.
5. Bandingkan rantai makanan perumput dan rantai makanan detritus. Berikan contohnya.
6. Jelaskan dan beri contoh pola-pola interaksi yang terjadi di dalam ekosistem.
7. Apa yang dimaksud dengan rantai makanan? Jelaskan.
8. Buatlah skema jaring-jaring makanan yang mungkin terjadi pada ekosistem hutan.
9. Jelaskan perbedaan antara piramida jumlah, piramida biomassa, dan piramida energi.
10. Gambarkan skema terjadinya siklus air.